



## **Sammenkobling af makroøkonomiske og teknisk-økonomiske modeller for energisektoren. Hybris**

**Klinge Jacobsen, Henrik; Morthorst, Poul Erik; Nielsen, Lise; Stephensen, Peter**

*Publication date:*  
1996

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
Klinge Jacobsen, H., Morthorst, P. E., Nielsen, L., & Stephensen, P. (1996). *Sammenkobling af makroøkonomiske og teknisk-økonomiske modeller for energisektoren. Hybris*. Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R No. 910(DA)

---

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **Sammenkobling af makroøkonomiske og teknisk-økonomiske modeller for energisektoren**

## **Hybris**

**Henrik Jacobsen  
Poul Erik Morthorst  
Lise Nielsen  
Peter Stephensen**

**Forskningscenter Risø, Roskilde  
Juli 1996**

**Resume** Projektets formål har primært været dels at integrere makroøkonomiske modeller (top down) og teknisk økonomiske modeller (bottom up) inden for energisektoren, dels at udrede samspillet mellem disse modeller teoretisk og metodisk.

Den *teoretiske* del af projektet har omfattet en gennemgang af forskelle og ligheder mellem makroøkonomiske og teknisk økonomiske modeller, herunder en diskussion af hvor begge modeltyper kommer til kort, og hvor således kun en integreret hybrid version kan anvendes. Endelig er der foretaget en identifikation af, hvilke forbindelsesled der skal være mellem en makroøkonomisk og en teknisk-økonomisk model.

Den *anvendelsesorienterede* del af projektet har bestået af en egentlig sammenkobling af videreudviklede energimoduler fra Risø's energimodel, BRUS, og den makroøkonomiske model ADAM, som anvendes bl.a. af Finansministeriet til økonomiske fremskrivninger og til konsekvensberegninger af økonomisk-politiske tiltag. Konkret har denne del af projektet bestået i udvikling af tre energimoduler, som er koblet sammen med ADAM-modellen. Disse tre moduler omfatter: 1) Et energiforsyningsmodul, der erstatter el-, gas-, og varmeerhvervet i ADAM-modellen. Modulet er koncentreret om el- og kraftvarmeforsyningen, hvor der er opbygget en simuleringsmodel indeholdende en række forsyningsteknologier og substitution mellem flere brændsler. 2) Et modul for bestemmelse af husholdningernes elforbrug. Modulet indeholder en apparatbestandsmodel baseret på den fysiske anvendelse af de mest el-intensive husholdningsapparater. 3) Et modul for bestemmelse af varmemeforbruget i husholdningerne. Modulet er baseret på udviklingen i antallet af bolig-m<sup>2</sup> og det tilhørende specifikke energiforbrug.

De relevante forbindelsesled til ADAM-modellen er blevet etableret, og en modelstruktur, Hybris (Hybrid interaktiv simulering), hvor ovennævnte energimoduler og ADAM-modellen kan "snakke" med hinanden i en iterativ proces er blevet udviklet.

Endelig er modelkomplekset blevet testet ved opstilling af et referenceforløb, og gennem en række scenarier er de forskellige anvendelsesmuligheder af Hybris-modellen blevet illustreret.

ISBN 87-550-2200-6  
ISSN 0106-2840

Grafisk Service, Risø, 1996

# Indhold

<b>FORORD</b>	<b>7</b>
<b>1. INDLEDNING</b>	<b>9</b>
1.1 Formål og baggrund	9
1.2 Beskrivelse og afgrænsning af projektet	9
1.3 Læsevejledning til rapporten	11
<b>2. TEORI OG METODE FOR TEKNISKE OG ØKONOMISKE ENERGIMODELLER</b>	<b>12</b>
2.1 Indledning	12
2.2 Undersøgelser af omkostningerne i forbindelse med reduktion af CO <sub>2</sub> -udslippet	14
2.3 Antagelserne bag tekniske (bottom-up) modeller	17
2.4 Antagelserne bag makroøkonomiske (top-down) modeller	20
2.5 Hvornår skal man vælge hvilken model?	24
2.6 Er løsningen hybridmodellen?	29
2.7 Den valgte Risø-hybrid	31
<b>3. STRUKTUR FOR SAMMENKOBLING</b>	<b>34</b>
3.1 Hvorledes kan en sammenkobling foretages ?	35
3.2 Energi i ADAM	38
3.3 Hvilke dele af ADAM er relevante for en sammenkobling	46
3.4 Hvad er koblet sammen i projektet og hvorfor er andre dele ikke medtaget	48
3.5 Hvad indebærer sammenkoblingen for de centrale egenskaber og analysemuligheder	49
<b>4. FORSYNINGSMODULET</b>	<b>52</b>
4.1 Input fra ADAM til forsyningsmodul	53
4.2 Kapacitetsberegningerne i elsystemet/udbygninger	54
4.3 Investeringer	57
4.4 El og varmeproduktion	59
4.5 El og kraftvarmeproduktion fra de centrale værker baseret på varighedskurve	62
4.6 Brændselsforbrug	72

4.7 Prisdannelse herunder sammenvejet outputpris for forsyningssektor	77
4.8 Emissionsberegninger og CO <sub>2</sub> afgift.	88
4.9 Output til ADAM: Link variable.	91
<b>5. APPARATMODULET ELMO</b>	<b>102</b>
5.1 Husholdningernes energiforbrug	102
5.2 Bottom-up model for elforbruget til apparater i husstande	103
5.3 Strukturen i apparatmodulet ELMO	106
5.4 Modulets relationer til ADAM	112
5.5 Estimation af økonomisk afhængige relationer	114
5.6 Bestandsmodellen i ELMO	117
5.7 Data anvendt i ELMO	120
5.8 Instrumenter i ELMO	120
5.9 Eksempler på resultater	122
<b>6. MODELLERING AF VARMEBEHOVET</b>	<b>126</b>
6.1 Indledning	126
6.2 Varmebehovet.	127
6.3 Klimakorrektion.	129
6.4 Korrektion for det samlede boligareal	132
6.5 Fremskrivning	134
6.6 Etablering af forbindelse til ADAM	136
6.7 Links til ADAM	137
<b>7. REFERENCEFORLØB</b>	<b>141</b>
7.1 Grundforudsætninger for økonomisk fremskrivning	141
7.2 Grundforudsætninger på energiområdet	142
7.3 Hovedresultater	152
<b>8. SCENARIER</b>	<b>160</b>
8.1 Afgiftsforløb	160
8.2 Omlægning af forsyningssystemet	168
8.3 Ændringer på efterspørgselssiden	174

8.4 Lavvækst og stigende energipriser	179
<b>9. KONKLUSION</b>	<b>184</b>
9.1 Teoretiske og metodiske problemer omkring integrerede modeller	184
9.2 Integrering af teknisk økonomiske moduler for energiforbrug og produktion med ADAM modellen	186
9.3 Videre perspektiver for arbejdet med sammenkobling af makroøkonomiske og energiorienterede modeller	188
<b>REFERENCER</b>	<b>189</b>
<b>BILAG</b>	<b>192</b>



# Forord

Dette er slutrapporten på projektet "Samkørsel af makroøkonomiske modeller (top-down) og teknisk-økonomiske modeller (bottom-up) for energisektoren. Projektet er finansieret under energiforskningsprogrammet Energi og Samfund (projektnr. 1753/93-0001) og er udført på Risø i samarbejde med Finansministeriet. Arbejdet er udført i perioden medio 1993 til primo 1996 af en projektgruppe bestående af:

Henrik Jacobsen

Poul Erik Morthorst (projektleder)

Lise Nielsen

Peter Stephensen (nu Statens Jordbrugsøkonomiske Forskningsinstitut)

I Finansministeriet har skiftevis Kaare Clemmensen, Pernille Holmgaard og Jacob Schaumburg-Müller været kontaktpersoner til projektet.

Internationalt har arbejdet med integration af makroøkonomiske og teknisk-økonomiske modeller haft stor bevågenhed i de senere år. Indeværende rapport er det første danske forsøg på en egentlig integration af teknisk baserede energimoduler med en makroøkonomisk model (ADAM). Som integrationsområder er energiforsyningssektoren og husholdningernes forbrug af el og varme blevet valgt, primært fordi disse områder er de mest hensigtsmæssige at behandle med bottom up metoder, samtidig med at specielt energiforsyningssektoren vejer tungt i den danske emission af CO<sup>2</sup>. De øvrige erhverv og transporten bliver energi- og miljømæssigt udbygget i ADAM under det Strategisk Miljøforsknings Program, hvorfor disse områder kun har været berørt i det omfang det har været nødvendigt af hensyn til de opbyggede energimoduler.

Projektet intenderer ikke at være nået frem til det endegyldige modelkompleks inden for dette område. Modelintegration af denne art er kompliceret, og mange uventede forhindringer har det været nødvendigt at overkomme undervejs, men efter projektgruppens opfattelse er vi nået rimeligt langt inden for dette projekts rammer.

Risø, juli 1996.





# 1. Indledning

## 1.1 Formål og baggrund

Projektets formål er dels at integrere makroøkonomiske modeller (top-down) og teknisk-økonomiske modeller (bottom-up) inden for energisektoren for herved at forbedre grundlaget for at vurdere de samfundsøkonomiske konsekvenser af givne energi- og miljøpolitikker, dels at udrede samspillet mellem disse modeller teoretisk og metodisk.

Den væsentligste begrundelse for projektet er, at regulering af drivhusgasemissioner fra energisektoren inden for de kommende år kan forventes at komme til at spille en stigende rolle i international sammenhæng. Internationale og nationale aftaler om reduktion af drivhusgasemissioner kan kræve en indsats af økonomisk-politiske virkemidler i et sådant omfang, at der vil ske en ikke uvæsentlig påvirkning af samfundsøkonomien.

De økonomiske virkninger af sådanne reduktionsmålsætninger for drivhusgasemissioner er i øjeblikket genstand for en intensiv international forskning, og det var derfor naturligt i dansk regi med den omfattende energiplanlægning i ryggen, at søge at bidrage til en afklaring af de problemstillinger, der eksisterer i samspillet mellem makroøkonomien og energisektoren.

## 1.2 Beskrivelse og afgrænsning af projektet

Projektet indeholder såvel en teoretisk og metodisk del som en anvendelsesorienteret del.

Den *teoretiske del* indeholder:

- en gennemgang af forskelle og ligheder mellem makroøkonomiske og teknisk-økonomiske modeller. Hvad kan modellerne hver for sig bruges til?
- en diskussion af hvor de to modeltyper begge kommer til kort - hvad kan kun en integreret, hybrid version svare på?
- en identifikation af, hvilke forbindelsesled der skal være mellem den makroøkonomiske og den teknisk-økonomiske model.

Specielt i forbindelse med sidstnævnte punkt, har der været en iterativ proces imellem den teoretiske del og den anvendelsesorienterede del. Den konkrete sammenkobling har i en række tilfælde været katalysatoren såvel for identifikation af forbindelsesled som for identifikation af teoretiske/metodiske problemer.

Den *anvendelsesorienterede del* har bestået af en egentlig sammenkobling af videreudviklede energimoduler fra Risø's energimodel, BRUS, og den makroøkonomiske model ADAM, som anvendes af bl.a. Finansministeriet til økonomiske fremskrivninger og konsekvensberegninger af økonomisk-politiske tiltag. Denne del af projektet har konkret bestået i:

- Udvikling af et energiforsyningsmodul, til erstatning af el-, gas-, og varmeerhvervet i ADAM-modellen. Modulet er koncentreret om el- og kraftvarmeforsyningen, hvor der er opbygget en simuleringsmodel med en række forsyningsteknologier til udbygning af kraftvarmekapaciteten, inklusiv substitution mellem flere brændsler. Dette modul udgør hovedelementet i sammenkoblingen,

og den detaljerede behandling af kraftvarmesektoren har krævet et omfattende modellerings- og dataarbejde.

- Udvikling af moduler for bestemmelse af el- og varmekonsumet i husholdninger. En årgangsbestandsmodel for elforbruget til husholdningsapparater er opbygget, baseret på den fysiske anvendelse af de mest el-intensive apparater. Tilsvarende er for varmekonsumet opbygget en model baseret på udviklingen i antallet af bolig-m<sup>2</sup> og det tilhørende specifikke energiforbrug.
- Etablering af de relevante forbindelsesled til ADAM-modellen, samt justering af modellen, hvor det var nødvendigt. En væsentlig forudsætning var her, at ADAM-modellen i sig selv skulle være så uberørt af ændringerne som muligt, primært af hensyn til en fremtidig implementering og/eller anvendelse af energimodulerne i ADAM.
- Udvikling af en modelstruktur, hvor ovennævnte energimoduler og ADAM kunne "snakke" med hinanden i en iterativ proces indtil konvergens er opnået. Udkommet er her blevet modelstrukturen Hybris, Hybrid Interaktiv Simulering.
- Aftestning af modelstrukturen gennem opstilling af et referenceforløb og gennemregning af en række scenarier relativt til dette referenceforløb.

Som projektet er skredet frem er den anvendelsesorienterede del blevet den mest omfattende. Dette skyldes primært arbejdet med energiforsyningsmodellen, som i sin struktur er blevet ret detaljeret. El- og varmeproduktionen simuleres under anvendelse af varighedskurver, og med opsplitning på et stort antal værker. Den disaggregerede struktur har medført en omfattende dataindsamling, lige som der har været et stort antal variable i ADAM-modellen at justere i forhold til de tilkoblede energimoduler.

Som nævnt er udkommet af integrationen modelstrukturen Hybris. Set fra et bottom up synspunkt kan Hybris ikke opfattes som en komplet model. I sin nuværende version omfatter Hybris kun energimoduler for en del af det samlede energisystem: Moduler er opbygget for energiforsyningen, samt for private husholdningers el- og varmekonsum. Dette betyder, at de øvrige erhverv samt transportsektoren kun er berørt i det omfang det har været nødvendigt af hensyn til de to førstnævnte områder. Dette valg af sektorer har flere begrundelser:

- Energiforsyningen er valgt, da det er langt den dominerende del med hensyn til emissioner af CO<sub>2</sub>, samtidig med at sektoren er interessant fra et bottom up synspunkt, idet den er karakteriseret ved langsigtede investeringsbeslutninger og underlagt reguleringsmæssige tiltag i forbindelse med den danske energiplanlægning.
- El- og varmekonsumet i husholdninger er valgt, da begge områder er eller vil blive underlagt en offentlig regulering (i form af normer på apparater, bygningsreglementet, obligatorisk tilslutning til kollektiv energiforsyning o.l.), og hvor opbygning af simuleringsmoduler giver mulighed for at anvende reguleringsmæssige tiltag.
- De øvrige ADAM-erhverv og transporten bliver energi- og miljømæssigt udbygget i ADAM under det Strategiske Miljø Program (SMP), hvorfor ovennævnte valgte områder passer fint ind i det arbejde der i øvrigt er i gang.

Hvor energimoduler ikke er udviklet - dvs. for de øvrige erhverv og transporten - kører Hybris-modelstrukturen udelukkende på de energirelationer, der eksisterer i ADAM-modellen. Dette betyder, at samlede kørsler med Hybris ud over de tilkoblede energimoduler kun indbefatter de reaktioner, der p.t. er indbygget i ADAM-modellens erhverv, dvs. reaktioner på det samlede energiforbrug, men ikke på typeopdelte

brændsler. Eksempelvis vil en prisstigning på elektricitet for erhvervene slå igennem på en vægtet energipris og hermed på erhvervets samlede energiforbrug. Herved vil elforbruget falde proportionalt med det samlede forbrug, men der vil ikke være en direkte effekt på elforbruget.

Endelig kan den her opbyggede modelstruktur kun ses i snæver forbindelse med, hvilke spørgsmål man har ønsket den skulle besvare. Der er således i den her beskrevne version lagt stor vægt på kraftvarmesektoren og mulighederne for brændselssubstitution inden for denne, mens eksempelvis naturgasforsyningen er mere sporadisk behandlet. Skal modelstrukturen anvendes til analyser af specielt naturgassystemet vil det være nødvendigt at udvide denne del, hvilket selvfølgelig også er muligt. Derfor den løsere betegnelse "struktur", der indikerer at modelværktøjet er en ramme, som skal/kan udbygges mere eller mindre afhængigt af den problemstilling, der ønskes behandlet.

### 1.3 Læsevejledning til rapporten

Rapporten her er at betragte som såvel en introduktion til de problemer der opstår ved en sammenkobling af makro-modeller med teknisk-økonomiske modeller, som en dokumentation for den egentlige sammenkobling mellem energimoduler, delvist fra BRUS-modellen, og ADAM-modellen. Dette betyder nødvendigvis, at der vil være en del variation i svarhedsgraden i de enkelte afsnit.

Kapitel 2 giver en introduktion til makro-modeller (top down) og teknisk-økonomiske simuleringsmodeller (bottom up). Hvilke ligheder og forskelle er der mellem de to modeltyper? Hvad er de hver for sig bedst til at svare på, og hvad kan kun en hybrid svare på?

Kapitel 3 skitserer mulighederne for sammenkobling mellem de to modeltyper, specielt med udgangspunkt i erfaringerne fra den konkrete sammenkobling mellem energimodulerne og ADAM-modellen. Som baggrund for dette og for nogle af de efterfølgende kapitler er det nødvendigt i et vist omfang at kende ADAM- og BRUS-modellerne. Hvis dette ikke er tilfældet, er der i bilag 3 et kort resume af BRUS-modellen, som du anbefales at læse før du går videre i teksten.

Kapitel 4 giver en beskrivelse af forsyningsmodulet, som er centralt for sammenkoblingen. En del af kapitlet dokumenterer teorien bag forsyningsmodulet, og en del relaterer sig direkte til sammenkoblingen med ADAM - begge afsnit er ganske svært tilgængelige.

Kapitel 5 beskriver apparatmodulet for bestemmelse af elforbruget i husholdningerne, og kapitel 6 omhandler varmemodulet for boliger. Begge områder er beskrevet ved forholdsvist traditionelle bottom up modeller. Disse afsnit er forholdsvist let tilgængelige.

Kapitel 7 omhandler referenceforløbet. Referencen dokumenteres forholdsvist grundigt og indblik i denne er en forudsætning for, at de efterfølgende scenarier kan vurderes.

Kapitel 8 illustrerer gennem en række scenarier de forskellige anvendelsesmuligheder for modelstrukturen, Hybris. Dette kapitel giver en god indsigt i hvad Hybris egentlig kan.

Kapitel 9 giver en kort konklusion, omfattende hvilke erfaringer der er opnået i dette projekt på området integration af makroøkonomiske modeller med teknisk-økonomiske modeller, samt hvilke problemer står endnu uløste tilbage.

## 2. Teori og metode for tekniske og økonomiske energimodeller

### 2.1 Indledning

I dette kapitel redegøres for teoretiske og metodiske overvejelser i forbindelse med konstruktion af en integreret model til brug for fremskrivninger og analyser af det danske energiforbrug.

Gennemgangen i kapitel 1 beskrev intentionerne bag en sådan integreret model, og skitserede en række forskellige spørgsmål, som det ville være ønskeligt, at en sådan "energimodel" kunne besvare. Opstillingen af modellen indebærer en række teoretiske og metodiske valg, idet man i analyser af udviklingen i det fremtidige energiforbrug og opgørelse af omkostningerne i forbindelse med en nedbringelse af de energirelaterede emissioner traditionelt har lagt vægt på enten en teknisk funderet beskrivelse af energiforbruget eller en økonomisk beskrivelse. Problemet er, at de to metoder ved sammenligning har vist sig at give meget forskellige vurderinger af, hvor store omkostninger der er i forbindelse med reduktion af eksempelvis CO<sub>2</sub>-emissionen. Forskellene synes at være systematiske, således at de teknisk funderede modeller har lavere omkostninger end de makroøkonomisk funderede modeller. Gennemgangen i afsnit 2.2 af et udsnit af den litteratur, der sammenligner modelresultater, viser, at modellemes vurderinger af omkostningerne i forbindelse med reduktion af CO<sub>2</sub>-udslip er så forskellige, at det har indflydelse på opfattelsen af "om en væsentlig reduktion af CO<sub>2</sub>-udslippet" overhovedet er et økonomisk problem: De makroøkonomiske modeller konkluderer, at en væsentlig reduktion af CO<sub>2</sub>-udslippet vil være forbundet med en ikke ubetydelig nedgang i den økonomiske vækst. De tekniske modeller konkluderer at en væsentlig reduktion af CO<sub>2</sub>-udslippet kan opnås uden samfundsøkonomiske omkostninger - eller endog med gevinst - hvis den allerede i dag kendte teknik tages i anvendelse og alle forbrugere af energi - virksomheder, husholdninger, det offentlige ... - skifter til den mest energibesparende teknik.

Inden opbygningen af en ny model er det vigtigt at gøre sig klart, om man i valget af "modellerings teknik" - som antydnet ovenfor - lægger sig fast på en bestemt anskuelsesmåde med hensyn til problematikken vedrørende reduktion af de energirelaterede emissioner. Givet at ingen af disse anskuelsesmåder er "den rigtige", er det vigtigt teoretisk og empirisk at kunne begrunde de valg, man som modelbygger er nødt til at træffe.

I de følgende afsnit 2.3 og 2.4 gennemgås antagelserne bag de tekniske modeller og de makroøkonomiske modeller - i litteraturen ofte benævnt hhv. "bottom-up" og "top-down" modeller. Ud fra en sammenligning af de nævnte antagelser diskuteres om de to modeltyper nødvendigvis skal give samme svar f.eks. på spørgsmålet om omkostningerne i forbindelse med en fremtidig CO<sub>2</sub>-reduktion. En af konklusionerne på denne diskussion er, at på det korte sigt behøver de forskellige antagelser ikke at give sig udslag i betydende forskelle mellem konkrete prognoser for energiforbruget (beregnet ved hjælp af de to modeller). På lang sigt kan det imidlertid have stor betydning, hvilken agentadfærd der, ifølge modellejerne, er den mest betydende adfærd med hensyn til det fremtidige energiforbrug.

Hvilken modeltype, man skal vælge, afhænger blandt andet af, hvilke spørgsmål man ønsker svar på. Det er sådan, at visse spørgsmål kun meningsfuldt kan besvares af

modeller med en makroøkonomisk tilgang, og visse spørgsmål kun af modeller, der er tilstrækkeligt teknisk specificerede. En væsentlig forskel mellem de to modeltilgange er, at den makroøkonomiske model medregner de afledede økonomiske effekter i den totale effekt af en given eksogen ændring i modellen, mens den tekniske model beskriver de energiforbrugende teknikker og mulighederne for at ændre energiforbruget ved f.eks. at indføre mere energibesparende teknik. Det er ikke væsentligt for den makroøkonomiske models prognose for energiforbruget at kende de underliggende energiforbrugende teknikker, og det er ikke den tekniske models ærinde at give et konsistent samfundsøkonomisk billede af økonomien og at beskrive de afledede samfundsøkonomiske effekter af energibesparende investeringer, ændrede produktiviteter, et ændret energiforbrug (totalt og relativt) og ændrede energipriser.

Der findes spørgsmål, der kun kan besvares af en såkaldt hybridmodel, dvs. en model som indeholder elementer fra begge modeltraditioner. Eksempler på spørgsmål, der kun kan besvares i en sådan model, er:

- Hvilken effekt har tekniske (energirelaterede) normer på emissionerne og den økonomiske vækst i Danmark?
- Er det muligt at opretholde en høj økonomisk vækst i Danmark, og samtidigt at reducere CO<sub>2</sub>-udslippet i 2005 til 80 pct. af CO<sub>2</sub>-udslippet i 1988 - og kan disse mål nås ved at satse på alternative energikilder?

Besvarelsen af disse spørgsmål stiller krav til udformningen og detaljeringsgraden af den model, der anvendes i besvarelsen. En makroøkonomisk analyse af effekten af givne CO<sub>2</sub>-reduktionsmål i f.eks. elforsyningssektoren kræver, at elforsyningssektoren teknisk set er relativt detaljeret modelleret, og at ændringer i denne sektors brændselsforbrug, produktionsomfang, investeringer og teknologi har afsmittende virkning på hele makroøkonomien - som derfor også skal være modelleret. En grundig analyse kræver, at forsyningssektoren modelleres på en sådan måde, at muligheden for endogen brændselssubstitution, beregning af elproduktionskapacitet og effekten af investering i ny kapacitet kan analyseres.

Er hybridmodellen løsningen på problemerne mht. valg af modeltype - eller har hybridmodellen - som altså er den kombinerede tekniske og makroøkonomiske model - de samme svagheder som hver af modeltraditioner? Er den tekniske bottom-up-model og den makroøkonomiske top-down-model specialtilfælde af hybridmodellen? Hvilke teoretiske muligheder er der for sammenkobling af de to modeller? Disse og andre spørgsmål diskuteres i afsnit 2.6.

Kapitlet afsluttes med en kort gennemgang af de valg og overvejelser, der har ført frem til opstillingen af Risø's Hybris-model. Modellen er en hybrid bygget op omkring den makroøkonomiske ADAM-model og dele af den tekniske BRUS-model. ADAMs beskrivelse af forsyningssektoren er erstattet af en teknisk meget detaljeret forsyningssektor. Det private forbrug af varme bestemmes ud fra en teknisk beskrivelse af varmekonsumet i et varmekonsumsmodul og det private forbrug af el - til alt andet end varme - bestemmes i et teknisk elforbrugsmodul. Gennemgangen af antagelserne bag modellen illustrerer modellens muligheder, men også dens begrænsninger.

## 2.2 Undersøgelser af omkostningerne i forbindelse med reduktion af CO<sub>2</sub>-udslippet

Der findes to undersøgelser af omkostningerne ved en reduktion af CO<sub>2</sub>-udslippet i Danmark.

Det Økonomiske Råds sekretariat (DØRS) beregnede i 1993 omkostningerne ved en isoleret dansk CO<sub>2</sub>-reduktion på 20 pct. i forhold til udledningen i 1988. Afgifter og kvoter blev alternativt anvendt som incitament til energibesparelser og energiomlægning. I beregningerne tilbageførtes CO<sub>2</sub>-afgiftsprovenu til husholdninger og virksomheder i form af generelle skattelettelser og indkomstoverførsler, således at skatteomlægningen var provenuneutral. Beregningerne blev udført på en langsigtet makroøkonomisk energimodel, GESMEC<sup>1</sup>. Beregningerne viste et privat forbrugstab i størrelsesordenen 1 til 7 pct. som følge af CO<sub>2</sub>-reduktionen. Omkostningerne var klart lavere ved en CO<sub>2</sub>-afgift end ved CO<sub>2</sub>-kvoter, idet afgifter, iflg. DØRS, sikrer at energibesparelser foretages, hvor de er billigst. Omkostningerne varierer efter hvor fleksibelt arbejdsmarkedet reagerer på virksomhedernes ændrede konkurrencevilkår, og efter om CO<sub>2</sub>-målsætningen samtidigt gennemføres i de lande, Danmark har størst samhandel med. DØRS analyse og dens resultater er beskrevet i DØRS (1993 b). GESMEC er beskrevet i DØRS (1993 a).

Systemanalysegruppen på Risø (Risø) beregnede i 1990, i forbindelse med den danske energihandlingsplan, Energi 2000, omkostningerne ved CO<sub>2</sub>-reduktioner på hhv. 20 og 50 pct. i forhold til udledningen i 1988. Beregningerne blev gennemført på Risø's tekniske mikromodel, BRUS. Beregningerne viste, at en reduktion på 50 pct. i 2030 ville koste i størrelsesordenen 40 kr. pr. ton CO<sub>2</sub> (i gennemsnit), mens en reduktion på 20 pct. opnået i 2005 ville give et *overskud* i størrelsesordenen 100 kr. pr. ton CO<sub>2</sub> (i gennemsnit). Reduktionerne forudsættes implementeret gennem et mix af tekniske standarder og afgifter. Risø's beregninger er bl.a. dokumenteret i Risø (1993). BRUS-modellen er dokumenteret i Risø (1990).

Beregninger på BRUS-modellen tager ikke hensyn til afledede makroøkonomiske effekter (positive eller negative) af de investeringer, der forudsættes gennemført i forbindelse med overgangen til ny teknologi. Det betyder, at der heller ikke tages højde for de positive effekter af en tilbageføring af et eventuelt CO<sub>2</sub>-afgiftsprovenu.

En sammenligning af de to danske undersøgelser af en 20 procents reduktion bekræfter den tendens, der er observeret i udenlandske modeller: at omkostningerne ved en given CO<sub>2</sub>-reduktion generelt er større når beregningerne baseres på makroøkonomiske modeller, end hvis modelgrundlaget er de tekniske mikromodeller (BRUS giver negative omkostninger, GESMEC giver positive omkostninger). Forskellene mellem de to undersøgelser ville blive større, hvis Risø's beregninger inkluderede den makroøkonomiske effekt af de rentable investeringer og den positive effekt af tilbageføring af CO<sub>2</sub>-afgiftsprovenu.

Figur 2.1 og 2.2 viser resultaterne af en række forskellige undersøgelser af omkostningerne ved at reducere CO<sub>2</sub>-emissionerne. Figurene findes i UNEP (1992). (Talmaterialet bag figurene findes i bilag 1 i bilagsafsnittet). Undersøgelserne omfatter industrialiserede lande, men ikke USA, og de anvendte modeller kan være enten makroøkonomiske modeller (top-down) eller tekniske mikromodeller (bottom-up).

---

<sup>1</sup> GESMEC er en generel ligevægtsmodel - dvs. en model der er opbygget i den neo-klassiske tradition, jf. afsnit 2.4. Modellen er karakteriseret ved, at priser og lønninger er fleksible og ved, at priser og lønninger tilpasser sig, så udbud er lig efterspørgsel på alle markeder. Antagelserne har den vigtige konsekvens, at der ikke vil være arbejdsløshed på arbejdsmarkedet.

Figurene adskiller sig ved, at CO<sub>2</sub>-reduktionerne måles i forhold til forskellige referencepunkter. I figur 2.1 måles både omkostninger og CO<sub>2</sub>-reduktioner i undersøgelsens "slutår" i forhold til økonomien og emissionerne i slutåret uden en CO<sub>2</sub>-reduktionsmålsætning. I figur 2.2 måles CO<sub>2</sub>-reduktionen i undersøgelsens "slutår" i forhold til CO<sub>2</sub>-emissionen i undersøgelsens referenceår (som f.eks. er 1988 i de ovenfor omtalte danske undersøgelser).

Figur 2.1 og 2.2 giver først og fremmest indtryk af stor uenighed om omkostningerne ved at reducere CO<sub>2</sub>-emissionerne - men viser også en uenighed mellem de makroøkonomiske undersøgelser, der er i overtal, og bottom-up undersøgelserne.

Den store spredning i omkostningsestimaterne inden for hver modeltype skyldes blandt andet, at omkostningerne ved en given CO<sub>2</sub>-reduktion varierer fra land til land, at hastigheden hvormed besparelserne indføres i de forskellige undersøgelser varierer, og at vurderingen af udviklingen i CO<sub>2</sub>-emissionerne - uden CO<sub>2</sub>-reducerende indgreb - er forskellig. Andre antagelser, der varierer mellem undersøgelserne, kan bidrage til de forskellige omkostningsestimater. De makroøkonomiske omkostningsberegninger er eksempelvis meget følsomme overfor, hvilke instrumenter (produktionsafgifter, forbrugsafgifter, kvoter, mv.) der anvendes til at nå en given reduktion, og hvordan et eventuelt afgiftsprovenu tilbageføres. Hvis de eksisterende skatter i et land har en "tilstrækkelig" væksthæmmende virkning, kan lempelse af disse skatter - ved tilbageføring af et CO<sub>2</sub>-afgiftsprovenu - bevirke, at de negative effekter af CO<sub>2</sub>-afgiften forsvinder - eller endog bliver positive.

Bottom-up-modellerne inddrager ikke de makroøkonomiske virkninger af tilbageføring af eventuelle afgiftsprovenuer. Som det var tilfældet med de danske undersøgelser ville forskellene mellem bottom-up-modellernes og de makroøkonomiske modellers omkostninger blive større, hvis alle - eller ingen - beregninger inkluderede den positive makroøkonomiske effekt af tilbageføring af CO<sub>2</sub>-afgiftsprovenuet.

Givet at der er forskel mellem bottom-up- og top-down-modellernes vurderinger af omkostningerne ved at reducere udledningen af CO<sub>2</sub>, er det nærliggende at forsøge at klarlægge årsagerne til denne forskel. I det følgende beskrives antagelserne bag de tekniske bottom-up modeller og de makroøkonomiske top-down modeller.



# CO2 emissions reductions cost estimates Industrialised countries - Non USA

Fig. 1 Reduction from baseline

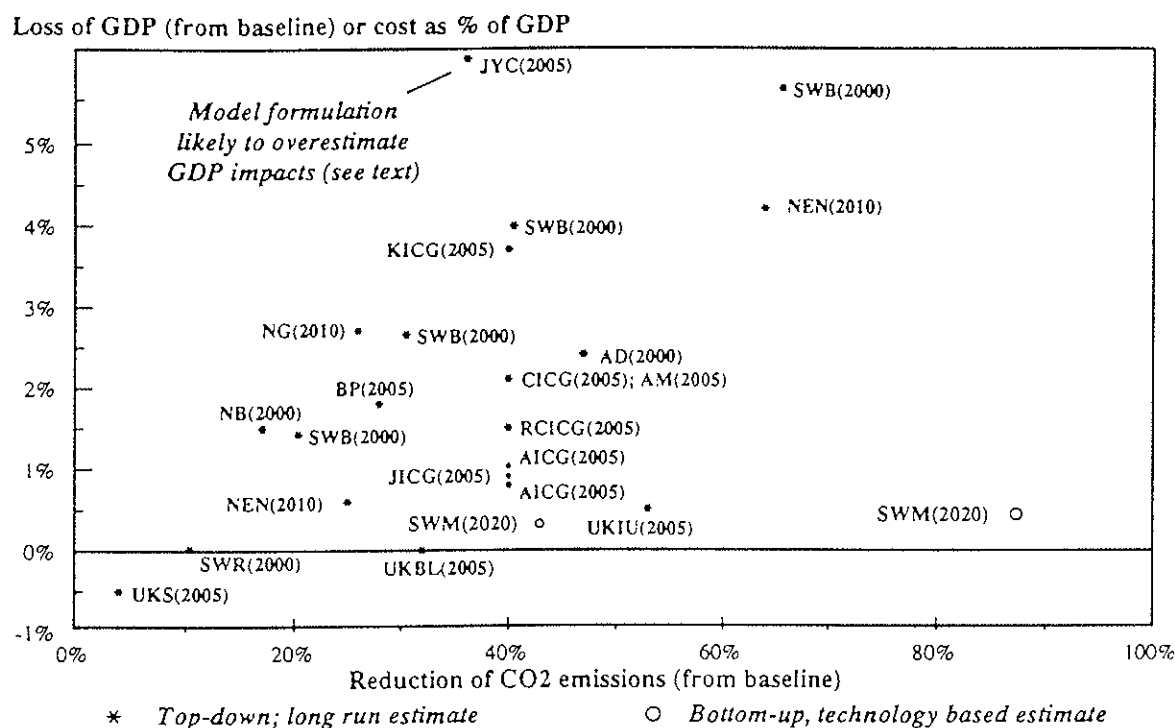
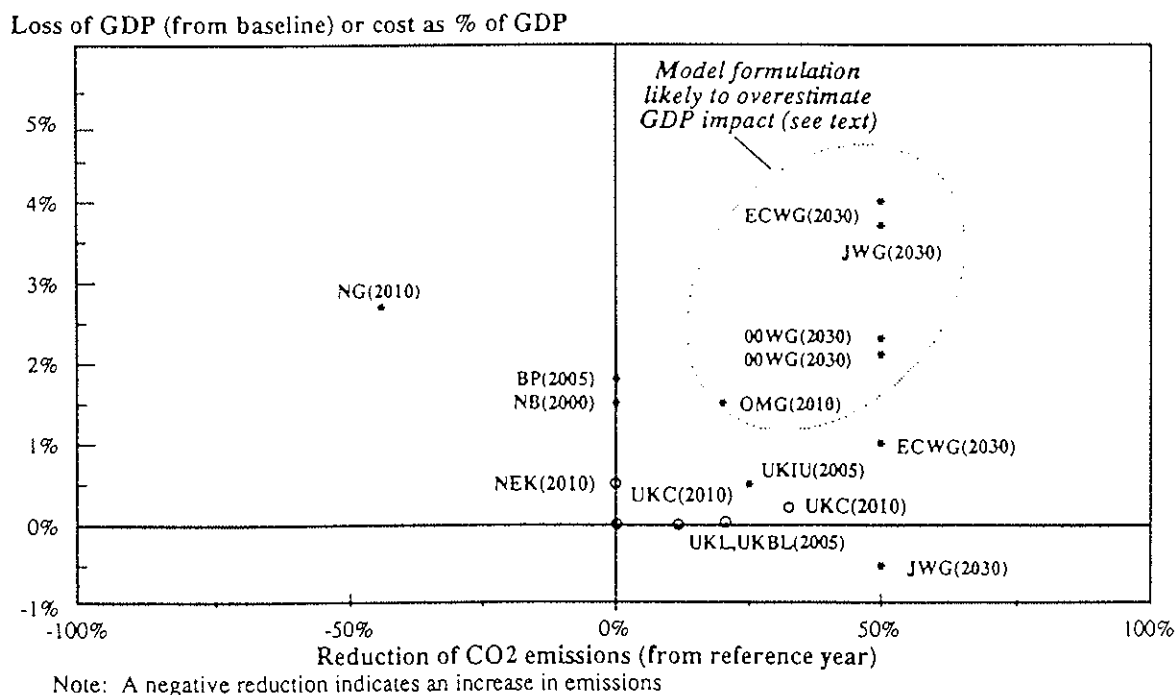


Fig. 2 Reduction from reference year



Kilde: UNEP (1992) og bilag 1

## 2.3 Antagelserne bag tekniske (bottom-up) modeller

Det væsentligste karakteristikum ved de tekniske (bottom-up) modeller er, at de indeholder konkret teknisk viden om de energiforbrugende og energitransformerende processer. Betegnelsen "bottom-up" - som ofte benyttes i litteraturen vedrørende energimodeller og deres anvendelse - hentyder til, at modelleringen tager sit udgangspunkt i det økonomer mere traditionelt vil benævne "mikroniveauet". Som eksempel på hvilken type oplysninger og hvilke antagelser, der indgår i den tekniske mikromodel, er nedenfor angivet, hvilke variabler en bottom-up analyse af indholdet af el i det private forbrug typisk vil definere. Det er:

- *Hvilke apparater* (fjernsyn, vaskemaskiner, tørretumblere osv.) i det private forbrug, der er *betydende* for det samlede private el-forbrug - elforbrugende apparater som eksempelvis elektriske æggekogere eller elpiskere indgår typisk ikke i analysen, idet det samlede energiforbrug til disse apparater er forsvindende i forhold til det samlede forbrug.
- En teknisk specifikation af de ovenfor definerede apparaters *energiforbrug*. Energiforbruget vil typisk afhænge af apparatets alder/årgang. De forskellige årganges energiforbrug er specificeret i modellen.
- Den forventede *teknologiske nyudvikling*. Dvs. det forventede fremtidige energiforbrug for allerede kendte apparater og for nye innovationer. De nye innovationers energiforbrug indgår i en samlet - eventuelt eksogen - størrelse.
- Hvor mange af de ovenfor definerede apparater (inklusiv "de nye opfindelser") hver person eller husholdning i gennemsnit har - denne størrelse benævnes også *apparatets "dækningsgrad"* . Dækningsgraden varierer over tid.
- Med hvilken intensitet personerne eller husholdningerne i gennemsnit benytter apparatet. *Forbrugsintensiteten*/anvendelsesfrekvensen kan variere over tid.
- Hvordan forbruget af hvert enkelt apparat på et givent tidspunkt er sammensat af årgange med forskellig energiintensitet. *Årgangssammensætningen* vil ændres i takt med apparaternes tekniske og/eller økonomiske forældelse. Når årgangssammensætningen kombineres med den tekniske specifikation af årgangenes energiforbrug vil den resulterende udvikling typisk vise et mindre energiforbrug over tid.
- En prognose over *befolkningsudviklingen* eller udviklingen i antallet af husstande. De tekniske modeller er bygget op om modelforbrugsenheder, f.eks. husholdninger, der alle har samme gennemsnitlige forbrug.

Ud fra denne type oplysninger kan en (teknisk) prognose for det fremtidige private elforbrug beregnes. Ved at ændre på udvalgte "usikre" antagelser kan alternative prognoser opstilles, og modellens følsomhed mht. antagelserne illustreres.

Ud fra tilsvarende principper kan en teknisk model af industrien, forsyningssektoren, transportsektoren, landbruget, "det offentlige forbrug" osv. konstrueres. Disse modeller kan anvendes hver for sig eller samlet, hvis større dele eller hele økonomiens energiforbrug ønskes beskrevet.

Den skitserede elforbrugsmodel kunne indeholde oplysninger om hvor meget energi/el, der var medgået til produktion af modellens apparater. Modellen ville i så fald dels beskrive et energiforbrug i forbindelse med anskaffelse af apparatet, og dels et energiforbrug i forbindelse med anvendelse af apparatet. Hvor meget energi, der er

medgået til at producere et givent apparat, kan opgøres på flere måder: Man kan dels fokusere på, hvor meget energi der er "nedlagt" i apparatet, og dels på hvor megen energi der er forbrugt undervejs i produktionen af apparatet. En opgørelse af hvor meget energi, der er forbrugt undervejs i produktionsprocessen, kræver en bottom-up-model af industriens energiforbrug (livscyklus analyse). I tekniske modeller, der både beskriver energiforbruget i de virksomheder, der producerer elapparater, og beskriver energiforbruget i de husholdninger der anvender elapparaterne, må man sikre sig, at der er konsistens i definitionerne af energiforbruget (således at det samme energiforbrug ikke tæller to gange).

De tekniske bottom-up modeller kan suppleres med forskellige økonomiske ræsonnementer:

- *økonomisk forældelse* fremfor teknisk forældelse (teknisk nedslidning) af det undersøgte produktionsapparat/de tekniske hjælpemidler.
- *prisreaktioner*. Forbruget af diverse brændsler kan gøres prisfølsomt ved at indbygge efterspørgselselasticiteter og, hvor der er mulighed for substitution, substitutionseleasticiteter. Modellen vil i dette tilfælde afspejle virksomhedernes eller den "repræsentative" forbrugers optimeringsadfærd.
- *omkostningsminimering*. Omkostningsminimering kan eksempelvis benyttes til at sikre, at elektricitet på ethvert tidspunkt produceres billigst muligt - dvs. at produktionen befinder sig i det punkt på produktionsmulighedsområdets grænse, hvor omkostningerne (givet priserne) er lavest.
- udviklingen i forskellige variabler og parametre, f.eks. antal apparater pr. husstand (dækningsgraden), knyttes til den makroøkonomiske vækst i økonomien.

I jo højere grad virksomhedernes og forbrugernes (mikro-)økonomiske adfærd beskrives, jo mere vil den tekniske mikromodel tilnærme sig en partiel mikroøkonomisk beskrivelse af virksomhedernes investerings- og produktionsadfærd og forbrugernes forbrugsadfærd.

De tekniske og de økonomiske mikromodeller kan begge have forbrugernes behovstilfredsstillelse som deres udgangspunkt: I de økonomiske mikromodeller udledes forbrugernes *adfærd* - f.eks. deres efterspørgsel efter forbrugsvarer - ud fra den enkelte forbrugers maksimering af sin *nyttefunktion* - givet budgetrestriktionen (forbrugers indkomst og formue). Nogle - men langt fra alle - tekniske mikromodeller tager udgangspunkt i forbrugernes *velfærd* og de behov forbrugere får dækket gennem energiforbruget (se f.eks. Lapillone (1992) og Nørgård, side 45-59, i Meyer (1991)). Eksempler på basale behov, som opfyldes gennem et energiforbrug er: varm mad, opbevaring af mad, transport, rumopvarmning. Disse såkaldte "end uses" kan produceres ved brug af forskellige "end use"-teknologier - og disse kan beskrives i bottom-up-modeller jf. ovenstående. Pointen i at tage udgangspunkt i forbrugernes behov er at understrege, at forbrugernes behov for varm mad, rent tøj osv. kan dækkes på et utal af måder - vi kan vælge at bo og spise i bofællesskaber, gå på restaurant, opvarme frosne færdigretter osv. En anden grund til at tage udgangspunkt i behovene er, at udviklingen i disse behov i høj grad kan være knyttet til den overordnede makroøkonomiske udvikling, medens opfyldelsen af behovene - og energiforbruget i relation hertil - kan beskrives teknisk, og vil være afhængig af den tekniske udvikling. Ved at understrege de forskellige måder hvorpå forbrugere kan dække de basale behov, understreges samtidigt usikkerheden i konkrete tekniske fremskrivninger af energiforbruget.

Selv om en bottom-up-model beskriver alt energiforbrug i en økonomi, vil analyser baseret på tekniske bottom-up-modeller altid være *partielle* (i økonomisk terminologi). Modellerne er partielle, fordi der ikke tages højde for f.eks. energiforbrugets og

investeringernes påvirkninger af den øvrige økonomi<sup>2</sup>, og idet der ikke - i det mindste ikke generelt - tages højde for den øvrige økonomis indflydelse på bottom-up-modellens energiforbrug og investeringsomfang - f.eks. ved at gøre udviklingen i energiforbrug og investeringer afhængig af den økonomiske vækst i resten af økonomien.

Den tekniske bottom-up-model kan benyttes til at beregne "omkostningerne" i forbindelse med en reduktion eller omlægning af energiforbruget eller en nedbringelse af emissionerne. Det omkostningsbegreb, der benyttes er driftsøkonomisk: Der udregnes f.eks. den enkelte virksomheds omkostninger og indtægter i forbindelse med investering og drift af et nyt og, i forhold til den analyserede målsætning (mindsket CO<sub>2</sub>-udslip, mindsket energiforbrug), bedre produktionsanlæg. En bottom-up-analyse af det private elforbrug vil beregne investeringsomkostningerne og driftsindtægterne knyttet til udskiftning af gamle fryser, køleskabe mv. med nyere og mere energibesparende "modeller". Investeringernes interne rente definerer den beregnede tilbagebetalingstid - og er afgørende for, om investeringen er drifts- og samfundsøkonomisk rentabel. Rentabiliteten måles i forhold til, hvilke mindstekrav med hensyn til renten hhv. virksomhederne og "samfundet" har. Under normale omstændigheder vil samfundets mindsterente (kalkulationsrenten) være lavere end virksomhedernes, fordi virksomhederne er langt mere sårbare overfor usikkerhed mht. indtjening, har højere finansieringsomkostninger osv.

Summation over nettoomkostningerne for alle de nyinvesteringer, der forudsættes i bottom-up-analysen, giver den totale drifts- og samfundsøkonomiske omkostning. Afgørende for omkostningsberegningerne er, hvilke antagelser der gøres om udviklingen i priserne - på brændsel, på "investeringerne" osv. Prisudviklingen antages i de tekniske bottom-up-modeller givet udefra - f.eks. fra en makroøkonomisk fremskrivning af økonomien.

De tekniske "bottom-up"-modellers styrke ligger i den meget præcise beskrivelse af "energisystemet" - dvs. i beskrivelsen af hvor og hvordan der forbruges energi i f.eks. den danske økonomi. Modellemne kan give et relativt præcist billede af "potentialt" for energibesparelser og af eksempelvis potentialt for CO<sub>2</sub>-reduktioner (det er ikke det samme, jf. nedenfor).

"Potentialt" for f.eks. energibesparelser kan defineres på flere forskellige måder. F.eks. som forskellen i energiforbrug mellem den teknologi der i dag anvendes og den mest energibesparende teknik, der kendes og er til rådighed i dag - eller som forskellen i energiforbrug mellem den i dag anvendte teknologi og den teknologi bottom-up-modellens eventuelle investeringskalkuler definerer som rentabel og "mindre" energiforbrugende.

Med hensyn til en målsætning om mindskede CO<sub>2</sub>-reduktioner er det ikke i første række energiforbrugets størrelse, der er problemet, men hvilken energikilde der anvendes. De tekniske modeller kan anvendes til at analysere mulighederne for - og "potentialt" i - brændsels substitution i f.eks. forsyningssektoren.

Modellemne kan desuden (og til forskel fra de makroøkonomiske modeller) anvendes til at analysere politiske indgreb, der har en detaljeret teknisk karakter, f.eks. kvoter og normer. Modellemne kan også anvendes til at analysere konsekvenser af ændrede afgifter og andre økonomiske tiltag. Resultaterne af disse analyser er partielle og har en driftsøkonomisk fortolkning.

Vurderet ud fra sine egne præmisser er bottom-up-modellernes svaghed - og dens begrænsning med hensyn til egentlige prognoser - at bottom-up-analysens tekniske stringens bliver mindre, jo fjernere tidshorisonten er, og jo større usikkerhed der er på

---

<sup>2</sup> F.eks. gennem påvirkningerne af energipriserne og kapitalomkostningerne - og gennem den forbrugs- og produktionsudvikling der meget eksplicit ligger i bottom-up-fremskrivningen.

fremskrivningerne af modellens eksogene. På et tidspunkt vil bottom-up-modellens tekniske forankring være så usikker - eller løs - at en eventuel prognose vil være et regulært gæt på udviklingen. I dette tidsperspektiv vil bottom-up modellens mange tekniske detaljer kun bidrage til at sløre gætterieme - med mindre disse gætterier systematiseres, således at fremskrivningen af de tekniske detaljer kan gives gode begrundelser eller kvalificeres.

Hvor langt en bottom-up-model med rimelighed kan forudsige energiforbruget og den teknologiske udvikling vil afhænge af, hvilke dele af energisystemet modellen beskriver: De dele af energisystemet, som er karakteriseret ved langsigtede investeringer - f.eks. forsyningssektoren - vil givet have en længere tidshorisont end energiinvesteringerne i det private og offentlige forbrug. En stor del af de kraftværker, der er i brug - eller er under opbygning - i dag, vil også være i brug om ti år, og også resten af el- og varmforsyningen vil stort set være planlagt ti år frem. Det er derved relativt lettere at forudsige, på hvilke anlæg og med hvilke brændsler (givet brændselspriserne og givet en uændret politisk prioritering) el produceres om ti år, end at forudsige om alle børn har en computer hjemme og i skolen om ti år - og hvor meget de i givet fald vil blive brugt. Hvis tidshorisonten er tredive år, vil de spørgsmål, man skal tage stilling til mht. det private og offentlige forbrug, være endnu vanskeligere: Vil alle børn køre i elbiler om tredive år - og hvis de ikke gør det, skyldes det så energipriserne, miljø- og energiafgifter eller andre politiske tiltag? Med hensyn til forudsigelsen af forsyningssektoren på tredive års sigt, er det vanskeligste måske at forudsige, hvilke politiske valg der bliver truffet - bliver forsyningssektoren liberaliseret, hvilke krav om CO<sub>2</sub>-reduktioner mv. vil blive effektueret osv.

En veldefineret anvendelse af bottom-up-modellen - også på det lange sigt - er f.eks. at anvende modellen, ikke til en egentlig prognose, men til en analyse af den eksisterende teknik - til en analyse af hvordan energiforbruget vil udvikle sig, hvis f.eks. det eneste der sker er en udskiftning af gammel teknik med nyere allerede kendt teknik. Sådanne analyser vil det altid have relevans at gennemføre uanset tidshorisont.

Den tekniske bottom-up-model har (når bortses fra omkostningsminimering) (endnu) ingen teori for hvordan den ene teknologi afløser den anden, ingen beskrivelse af forbrugeradfærden og prisdannelsen, intet forsøg på at definere hvad der bestemmer den teknologiske og økonomiske vækst. Dette er sammen med modellens partielle struktur, hvad makroøkonomen ser som den tekniske models begrænsning på kort og på lang sigt.

For nogle typer økonomier, eksempelvis de tidligere østlandes økonomier, der er i en overgangsfase mellem forskellige økonomiske systemer, kan bottom-up-modellerne være bedste beskrivelse af energiforbruget på kort og på lang sigt - fordi markedsmekanismene endnu ikke fungerer, og fordi den økonomiske adfærd ikke kan beskrives ud fra den historiske adfærd, under et andet økonomisk system. (Chandler og Kolesov, (1994), anvender disse argumenter).

## **2.4 Antagelserne bag makroøkonomiske (top-down) modeller**

De makroøkonomiske modeller adskiller sig på en række meget væsentlige punkter fra de tekniske mikromodeller beskrevet i det foregående afsnit. Selv om modellerne overordnet set beskriver det samme - f.eks. det danske energiforbrug - så er udgangspunkterne for beskrivelsen - og metoderne bag - helt forskellige. De makroøkonomiske modeller beskriver den samlede aktivitet i økonomien. Modellerne opstilles på baggrund af økonomiske teorier for makroøkonomiens funktionsmåde og på baggrund af (bl.a. økonometriske) analyser af den historiske udvikling. De vigtigste relationer beskriver "agenternes" økonomiske adfærd, og aggregeringsniveauet er generelt højt.

Det er klart at disse forskelle mellem de tekniske mikromodeller og makromodellerne lægger op til et af de spørgsmål, der søges besvaret i afsnit 2.5: om de to modeltilgange skal give samme svar på et spørgsmål om energiforbrugets fremtidige størrelse i Danmark? Eller samme svar på et spørgsmål om omkostningerne i forbindelse med en given CO<sub>2</sub>-reduktion?

I litteraturen vedrørende energi- og emissionsprognoser benyttes ofte betegnelsen top-down om de makroøkonomiske modeller. Betegnelsen hentyder til, at de makroøkonomiske modellers intention er at beskrive det samlede aktivitetsniveau i økonomien, og at beskrive hvordan samspillet mellem eksempelvis energisystemet og makroøkonomien fungerer under forskellige forudsætninger. Aggregeringsniveauet bestemmes ud fra makromodellens formål, hvorfor det kun er forhold, der har en betydende (dvs. målelig) indflydelse på makroøkonomien, der beskrives. Således er det ikke i sig selv en dyd at beskrive energisystemet så detaljeret som muligt - især ikke hvis en sådan detaljeringsgrad indebærer "mange" antagelser. Hvis en detaljeret beskrivelse af energisystemet indebærer mange antagelser, er det tværtimod en dyd "kun" at beskrive energisystemet tilstrækkeligt detaljeret til, at påvirkningen af makroøkonomien kan belyses - og tilstrækkeligt detaljeret til, at de spørgsmål, der stilles til modellen, kan besvares. En sådan fremgangsmåde vil sædvanligvis indebære færre antagelser.

En makroøkonomisk beskrivelse af det private elforbrug kunne eksempelvis bestå af:

- En relation der specificerer, hvorledes det private elforbrug afhænger af den totale mængde af varige forbrugsgoder i husholdningerne og af elprisen.

Relationens udseende (herunder hvilke forklarende variabler relationen indeholder) vil blive bestemt i en økonometrisk analyse af det historiske elforbrug i den private sektor. Mængden af varige forbrugsgoder i husholdningen kan f.eks. approksimeres ved en vægtet sum af de sidste fem års køb af varige forbrugsgoder.

Det er klart, at en relation som den ovenstående ikke kan besvare spørgsmål som f.eks. "betydningen for makroøkonomien af differentierede elafgifter på privat elforbrug". Hvis sådanne spørgsmål ønskes besvaret, må relationen disaggregeres i passende omfang.

Bag den ovenstående relation og dens indpasning i makromodellen ligger en række antagelser. Makromodellen er opstillet på baggrund af en økonomisk teori for, hvordan makroøkonomien fungerer, og på baggrund af en økonometrisk bestemmelse af denne models parametre.

Der findes to forskellige teoretiske udgangspunkter for opstillingen af den makroøkonomiske model. Den afgørende forskel mellem disse teoretiske udgangspunkter (modeltraditioner) er spørgsmålet om, hvor stærke de ligevægtsskabende mekanismer er (især på arbejdsmarkedet). Hvis efterspørgslen efter brændsel eller f.eks. arbejdskraft falder, vil den faldende efterspørgsel da påvirke brændselsprisen og lønningerne i nedadgående retning? Og hvor lang tid vil der i givet fald gå, før priserne er faldet tilstrækkeligt til, at udbud og efterspørgsel er lig med hinanden på markedene for brændsel og arbejdskraft. Ifølge de neo-klassiske modeller er de ligevægtsskabende mekanismer stærke, og derfor vil der - efter en eksogen ændring af f.eks. brændselsefterspørgslen - ske en relativt hurtig tilpasning af priser og mængder til en ny markedsligevægt. Ifølge de keynesianske modeller *kan* priserne reagere meget trægt - eller slet ikke - som følge af ændringer i efterspørgselsforholdene. Det betyder, at der kan opstå uligevægt på vare- og arbejdsmarkedene.

Hvilken modeltradition, modelbyggeren vælger at bygge sin model inden for, har betydning for effekten af økonomisk politik, herunder effekten af f.eks. en CO<sub>2</sub>-afgift.

Forskellene kan illustreres ved følgende eksempler (som ikke medtager alle effekterne af en ændret CO<sub>2</sub>-afgift<sup>3</sup>):

Vi antager, at en CO<sub>2</sub>-afgift indføres i en keynesiansk model, hvor priserne er input-output bestemte<sup>4</sup> eller faste<sup>5</sup>, og hvor efterspørgselen bestemmer produktionen. Afgiften vil bevirke en nedgang i den prisfølsomme del af energiefterspørgselen og en substitution bort fra relativt CO<sub>2</sub>-tunge brændsler. Det var en af de effekter vi ønskede. Hvis CO<sub>2</sub>-afgiften imidlertid væltes over på forbrugerpriserne - og det er det mest sandsynlige - vil dette aflede et fald i efterspørgselen til forbrug og dermed et tilsvarende fald i produktionen. Produktionsfaldet vil betyde en nedgang i den økonomiske vækst. Hvis erhvervsinvesteringerne er følsomme overfor ændringer i energipriserne (inkl. afgifter), og hvis effekten er positiv, således at øgede CO<sub>2</sub>-afgifter bevirker øgede investeringer i omlægning af produktionen bort fra CO<sub>2</sub>-tunge erhverv, kan den øgede investeringsefterspørgsel isoleret set trække efterspørgselen op. I en rent efterspørgselsstyret model vil investeringerne ikke bevirke at erhvervenes produktionskapacitet ændres (idet den altid vil være tilstrækkelig). I det omfang CO<sub>2</sub>-afgiften *ikke* væltes over på priserne - men bevirker en nedgang i erhvervenes overskud - kan der være mekanismer i modellen, der beskriver at virksomhederne bliver mere økonomisk trængt, f.eks. kan erhvervsinvesteringerne falde.

Hvis den samme CO<sub>2</sub>-afgift indføres i en neo-klassisk model, hvor priserne fastsættes så udbud er lig efterspørgsel, vil afgiftsændringen umiddelbart - som i den keynesianske model - bevirke, dels en substitution bort fra CO<sub>2</sub>-tunge brændsler, og dels en nedgang i efterspørgselen til forbrug. Efterspørgselsnedgangen på de CO<sub>2</sub>-tunge brændsler og på forbrugsefterspørgselen vil imidlertid få virksomhederne (og erhvervene) til at sætte priserne ned, indtil en ny ligevægt mellem udbud og efterspørgsel er etableret. Hvor meget priserne skal falde, afhænger af efterspørgselselasticiteterne og af virksomhedernes udbudselasticiteter. Virksomhedernes kapacitet og vareudbud påvirkes af investeringsomfanget. Øgede investeringer i energibesparende kapital som følge af øgede CO<sub>2</sub>-afgifter kan derfor bevirke øget kapacitet - og kapacitetsafledte prisfald. I forhold til den keynesianske model har den neo-klassiske model flere mekanismer, som mindsker den "initiale" efterspørgselsnedgang som følge af afgiftsstigningen. De modificerende mekanismer bevirker at afgiftsstigningerne skal være relativt kraftige for at nå et givent CO<sub>2</sub>-reduktionsmål.

I både den klassiske og den keynesianske makromodel vil en CO<sub>2</sub>-afgift have negative virkninger på den økonomiske vækst. Det skyldes blandt andet, at de bagvedliggende økonomiske teorier hviler på antagelser om agenternes rationelle økonomiske adfærd - og at disse teorier er uforenelige med, at der f.eks. i industrien skulle findes "store", uudnyttede, økonomisk rentable potentialer for energibesparelser<sup>6</sup> - sådan som de tekniske mikro-modeller påstår, jf. afsnit 2.2. Tilbageføring af CO<sub>2</sub>-afgiftsprovenu kan betyde, at den samlede effekt af en stigning i CO<sub>2</sub>-afgiftsprovenu er vækstforøgende - såvel i den keynesianske som i den klassiske makromodel. Dette resultat skyldes, jf. diskussionen i afsnit 2.2, at den initiale skatte- og afgiftsstruktur kan være inoptimal - udfra et økonomisk vækst synspunkt - og at en CO<sub>2</sub>-afgift er mindre væksthæmmende

<sup>3</sup> En effekt som har stor betydning for de samlede omkostninger er konkurrenceevneeffekten. Denne effekt er ikke nævnt i eksemplerne, idet den vil findes i både de keynesianske og klassiske modeller.

<sup>4</sup> De input-output baserede priser bestemmes ud fra eksogene "råvarepriser" og en hypotese om, at varenes pris kan beskrives ved, hvilke input (råvarer og forarbejdede varer) der er medgået til produktionen.

<sup>5</sup> Som tidligere nævnt er det ikke nødvendigvis alle priserne i de keynesianske modeller, der er enten input-output bestemte eller faste. En del priser vil "clear" markederne, som i de neo-klassiske modeller.

<sup>6</sup> Disse benævnes i litteraturen "free lunches" eller "no regrets improvements".

end nogle af de skatter og afgifter, der kan nedsættes eller helt fjernes ved en tilbageføring af afgiftsprovenu. Det er vigtigt at være opmærksom på, at tilbageføring af et CO<sub>2</sub>-afgiftsprovenu vil have vækstforøgende effekter (negativ virkning på de samfundsøkonomiske omkostninger) uanset hvilken modeltilgang - teknisk bottom-up eller økonomisk makromodel - der vil blive anvendt, jf. afsnit 2.2.

Om modelbyggeren skal vælge den klassiske eller keynesianske modeltilgang er et spørgsmål om, hvilken teori, modelbyggeren tror på, giver den bedste beskrivelse af de økonomiske sammenhænge på kort og på lang sigt (hvor kraftige de ligevægtsskabende mekanismer er på kort og på lang sigt). Jo længere tidshorisont, des mere trækker i retning af, at både udbuds- og efterspørgselsforhold er relevante for den økonomiske vækst, og at markedsbestemte priser og markedsligevægt vil være væsentlige karakteristika i makroøkonomien.

Givet den teoretiske modelstruktur bestemmes den konkrete udformning af de enkelte makrorelationer (hvilke forklarende variabler og hvilke parameterværdier) ud fra en økonometrisk analyse af de historiske sammenhænge. De historiske sammenhænge antages - med mindre andre oplysninger haves - at gælde i fremtiden.

I de makroøkonomiske modeller findes en aggregeret teknisk beskrivelse af erhvervenes input-output struktur - dvs. en beskrivelse af hvilke input erhvervene leverer til hinandens produktion. Hvis erhvervenes produktion beskrives ved (aggregerede) produktionsfunktioner vil erhvervenes input-output struktur kunne ændres med produktionsfunktionen. Den tekniske beskrivelse i de makroøkonomiske modeller er - sammenlignet med bottom-up-modellens beskrivelse - yderst summarisk og kun rettet mod erhvervenes aktivitet og brug af inputfaktorer.

De makroøkonomiske modellers styrke i en energimæssig sammenhæng er, at energisystemets samspil med den øvrige økonomi belyses. Modellemne fokuserer på økonomiske sammenhænge, der har betydning for makroøkonomien, og som antages stabile over tid. De økonomiske agents aggregerede adfærd og deres reaktion på eksempelvis energipris- eller CO<sub>2</sub>-afgiftsændringer beskrives. Modellemne opstilles på baggrund af økonomisk teori for makroøkonomiens funktionsmåde og på baggrund af historiske data og økonometrisk teori for behandlingen af de økonomiske data. Dette gør, at modellemne i princippet er reproducerbare for andre. Modellemne sikrer prognoser, der er internt konsistente.

I forhold til bottom-up-modellemne - og med hensyn til prognoser for det fremtidige energiforbrug - vil makroøkonomen fremhæve det som en styrke, at de makroøkonomiske modeller ikke fortaber sig i en overvældende detaljeringsgrad i beskrivelsen af energisystemet. Problemet med den meget detaljerede beskrivelse er, ifølge makroøkonomen, at prognoserne involverer en række antagelser på det tekniske mikroniveau, og at usikkerheden på disse antagelser kan være så store, at antagelser og modellering på et højere aggregeringsniveau vil være enklere, nemmere at forholde sig til og sandsynligvis give en mindst ligeså god beskrivelse. Mens det på kort sigt kan være uproblematisk at fremskrive forbruget af fjernsyn, computere og motorer, så vil fremskrivninger med de "rene" tekniske modeller på blot lidt længere sigt indeholde en høj grad af modelbyggerens subjektivitet: Hvordan tror modelbyggeren at udviklingen i forbruget af fjernsyn, motorer og nye opfindelser bliver.

Det er ikke generelt, at bottom-up-fremskrivninger med en mellemfristet eller lang tidshorisont er subjektive. Jf. det foregående afsnit gælder det f.eks. ikke for beskrivelsen af el- og varmforsyningen, fordi teknikken her er karakteriseret ved meget langsigtet investeringer.

De makroøkonomiske modellers svaghed er, om de teoretiske og empiriske forudsætninger holder: Giver den teoretiske model en "rigtig" beskrivelse af økonomien, som den var i estimationsperioden, og vil denne model holde i fremtiden? Er



estimationsperioden speciel på grund af eksempelvis energikrise og indførelse af naturgas. Er de økonomiske agenter så rationelle som teorien antager? Bottom-up-modellernes resultater tyder på, de ikke er det.

Et væsentligt kritikpunkt er forudsætningerne om udviklingen i erhvervenes energieffektivitet. Energieffektiviteterne kan være estimerede eller være eksogent fastlagte. Hvor store erhvervenes energieffektiviteter er, og hvordan de udvikler sig har stor betydning for størrelsen af - og udviklingen i - det samlede energiforbrug. Energieffektiviteterne forkortes i den engelsksprogede litteratur AEEI.

“Aggregate changes in energy efficiency are captured in a coefficient of autonomous energy efficiency improvement (AEEI) that indicates trends in the energy/gdp ratio. This coefficient subsumes both the speed of innovation, the speed at which cost-effective technological innovations penetrate capital stocks, and the speed of structural changes in the demand for energy services. ... In the top-down approach, the historic trends concerning these factors are projected into the future using the AEEI coefficient. The implied rate of technology diffusion (and of structural change) is assumed to be optimal from an economic efficiency point of view”. Krause (1994) side 3.

Det er et relevant spørgsmål, om en enkelt variabel er velegnet til at beskrive udviklingen i energieffektiviteten i makromodellernes ofte meget aggregerede erhverv. En velegnet beskrivelse forudsætter som minimum, at de aggregerede erhverv er energimæssigt homogene, og at energibesparende teknik indføres i samme takt. Disse forudsætninger sikrer, at underliggende erhvervsforskydninger i det aggregerede erhverv ikke har betydning for energiforbruget.

En kraftig forøgelse af CO<sub>2</sub>-afgifterne er et muligt middel til at nedbringe CO<sub>2</sub>-emissionerne. I de makroøkonomiske modeller vil effekten af CO<sub>2</sub>-afgiften afhænge af energipriselasticiteterne. I relation til estimerede energipriselasticiteter konkluderer Barker, Ekins og Johnstone i “Global Warming and Energy Demand” (1995), at disse må være brændselsspecifikke (fordi substitution mellem brændsler kan give væsentlige CO<sub>2</sub>-reduktioner), og at der er en række problemer knyttet til en ukritisk anvendelse af elasticiteterne. Problemerne relaterer sig til hvorvidt de estimerede historiske elasticiteter vil gælde i hele fremskrivningsperioden når: 1) OPEC oliepris chocks og meget markante energiprisudsving har præget estimationsperioden, 2) estimationsperioden er kortere end fremskrivningsperioden, 3) prisændringer og deraf afledte ændrede produktions- og efterspørgselsstrukturer kan tænkes at føre til andre reaktionsmønstre end dem man har kendt historisk, og 4) markedet for energi kan tænkes at nå et mætningspunkt (Barker et al., 1995, side 312).

Top-down-modellen beskriver ikke energisystemet og forholder sig dermed heller ikke eksplicit til det tekniske og økonomiske potentiale for energibesparelser, der er et af bottom-up-modellernes væsentligste resultater.

Også i forhold til de makroøkonomiske modeller kan man stille spørgsmålstejn ved, om aggregeringsniveauet er fornuftigt med hensyn til hvert enkelt af de spørgsmål, man ønsker at belyse ved anvendelse af modellerne.

## 2.5 Hvornår skal man vælge hvilken model?

De foregående afsnit om de tekniske mikromodeller og de makroøkonomiske modeller viste, at der er meget stor forskel på de to modeller. Nedenstående tabel 2.1 opsummerer de foregående afsnits beskrivelse af modellernes karakteristika.

*Tabel 2.1: Modellernes karakteristika*

	Makroøkonomiske modeller Top-down	Tekniske mikromodeller Bottom-up
Beskriver	Samspelet på aggregeret niveau mellem agenternes energiforbrugsadfærd, erhvervenes input-output teknologi, erhvervenes energiproduktion og makro-økonomien.	Energisystemet - dvs., det private og offentlige energiforbrug, erhvervenes energiforbrug og energiproduktionen. I beskrivelsen kan indgå omkostningsminimering, priselasticiteter mv.
Aggregeringsniveauet	Højt	Lavt
Modellens teoretiske fundament	Økonomisk	Teknisk
Modellens vigtigste sammenhænge	Adfærdsrelationer	Tekniske specifikationer
Hvilke effekter af ændringer medtages	Direkte og afledede makroøkonomiske effekter - modellen er "total"	Kun direkte effekter - modellen er partiel
Omkostningsbegreb	Ændring af den økonomiske vækst	Driftsøkonomisk, privatøkonomisk
Er der mekanismer, der sikrer intern konsistens mellem modellens variabler?	Ja	Ikke nødvendigvis. En model for det samlede energiforbrug kan "stykkes" sammen af delmodeller, som er helt eller delvist ukoordinerede.
Tidshorisont	Afhænger af modelspecifikationen - men kan være lang.	Forskellig for forskellige dele af modellen - afhænger af de enkelte teknikkers levetid og introduktionen af nye opfindelser. Tidshorisonten indenfor samme model kan være fra kort til lang.

Top-down- og bottom-up-modellerne har, siden bottom-up-modellerne kom frem i begyndelsen af 1970'erne, tilnærmet sig hinanden. Denne udvikling opsummerer Hourcade et al. (1995), side 32, i følgende tabel 2.2.

**Tabel 2.2: Key Strucural Distinctions Between Bottom-Up and Top-Down Models**

Structural Dimention	Early Top-Down	Early Bottom-Up	More recent Top-Down	More recent Bottom-Up
1. Endogenization of Behavior	High	Low	High	(More)
2. Details on Non-Energy Sectors	High	Low	High	(More)
3. Details on Energy End-Uses	Low	High	(More)	High
4. Details on Energy Supply Technologies	Low	High	(More)	High
5. Predictive Orientation	High	Low	(Lower)	(Higher)

De makroøkonomiske modeller, der i dag anvendes til fremskrivning af energi og energirelaterede emissioner, har generelt en langt mere detaljeret beskrivelse af energiforbruget og energiforsyningen end de modeller, der blev anvendt for blot ti år siden. Energikriserne og den stigende opmærksomhed om drivhusgassernes og andre emissioners skadelige virkninger på miljøet har bevirket, at der stilles stadigt mere detaljerede spørgsmål om energi til modellejerne.

De tekniske mikromodeller, man i dag anvender, støtter sig i langt højere grad end tidligere på overordnede makroøkonomiske udviklingstrends.

At modellejerne har tilnærmet sig hinanden, har imidlertid ikke betydet ændringer af modellernes grundlæggende karakteristika.

Generelt kan man sige, at hvilken model man skal vælge til sine analyser mv., afhænger af, hvilke spørgsmål man ønsker besvaret. Begge modeller har styrker og svagheder. Bottom-up-modellen har en detaljeret beskrivelse af energisystemet - det har makromodellen ikke. Makromodellen beskriver det økonomiske samspil og de økonomiske agenter makroøkonomiske adfærd - det gør bottom-up-modellen ikke.

Spørgsmål der retter sig specielt mod én af modellejerne, skal selvfølgelig besvares af denne model. Det gælder imidlertid for en lang række spørgsmål, at det ikke er oplagt hvilken model, der vil være den mest "rigtige" at anvende. Selvom spørgsmålet er det samme, vil svarene fra de to modeller skulle fortolkes ud fra modellernes egne præmisser.

Tabel 2.3 beskriver modellernes anvendelsesmuligheder - når man lægger vægt på modellernes opbygning og den tekniske hhv. økonomiske fundering. At modellejerne *kan* anvendes som beskrevet i denne tabel, er der sandsynligvis ikke stor uenighed om. Uenighederne drejer sig om, hvornår man *bør* anvende den ene eller anden model. Fortalere for top-down-tilgangen vil sandsynligvis mene, at tabellen beskriver, i hvilke tilfælde man *bør* bruge den ene eller den anden model. Bottom-up-tilgangens fortalere vil mene, at bottom-up-modellernes anvendelse til prognoseformål og til omkostningsberegninger rækker videre end tabellen antyder. Selvom hele opbygningen af den makroøkonomiske model er målrettet mod en anvendelse til prognoseformål, er den ikke nødvendigvis bedre til prognoser end bottom-up-modellen. En række fortalere for bottom-up-modellerne vil mene, at disse modeller er *bedre* til at forudsige det

fremtidige energiforbrug, og *bedre* til at beregne de *samfunds*-økonomiske omkostninger i forbindelse med CO<sub>2</sub>-reduktioner end de makroøkonomiske modeller.

De følgende citater illustrerer forskellige synspunkter på modellernes anvendelse:

“The overall conclusions for policy makers from this assessment is quite straight-forward: In developing carbon reduction policies,

- Bottom-up studies should be relied upon first-order estimates of the sign and magnitude of the societal cost of carbon reductions. These economic impacts inherently have to be calculated on the basis of non-price policies. Notable they would establish whether and to what extent carbon reduction goals would increase or decrease energy expenditures, and would allow qualitative conclusions about the direction of change of total economic output.
- Top-down studies should be used for various secondary analyses, notably the macroeconomic implications of policy packages that yield lower societal energy bills but may include somewhat higher energy prices. Their focus should be on distributional, competitiveness, and leakage impacts under a non-comprehensive carbon policy regime.
- Bottom-up studies should be used to determine low energy or carbon tax levels based on average abatement cost...
- Top-down studies should be similarly used to study options for increasing the effectiveness of macroeconomic tax-recycling policies, which offer another approach to keeping required energy taxes to low levels”. Krause et al. (1993, side 6).

Wilson og Swisher (1993, side 261-262) konkluderer om top-down- og bottom-up-modellerne:

“The conflicting views and approaches described above illuminate the difficulty in attempting to bridge the gap between top-down and bottom-up analyses of the cost of mitigating global warming. Attempts made thus far have been inadequate, because they do not address the fact that the analysts are asking different questions. Nor do they address the very different perceptions of reality that divide top-down and bottom-up analysts. ... These two ways of seeing and describing the world are conceptually incompatible. ... The results reached through these two approaches fuel political debate. The top-down analyses support politicians who have taken a wait and see stance in the greenhouse debate. Bottom-up analyses support politicians who have taken a do something now stance toward stabilizing, and eventually reducing, greenhouse gas emissions. The final choices between these two positions will be made on political rather than scientific bases”.

I Hourcade et al. (1995) konkluderes blandt andet,

“There is a growing integration of bottom-up and top-down analyses of the costs of energy-related CHG mitigation. This convergence means that differences in results are increasingly driven by differences in input assumptions rather than differences in model structure. Nevertheless, differences in structure remain important as different types of models are best suited to answer different kinds of questions. Models with more detailed representation of technology are more suited to identifying technical potentials and financial costs and savings; models with more detailed representation of broader economic activity are more suited to identifying costs in terms of higher or lower economic growth”.

*Tabel 2.3: Eksempler på modellernes anvendelser*

	Makroøkonomiske modeller Top-down	Tekniske mikromodeller Bottom-up
Analyser	Økonomiske	Tekniske
a) ændringer i modellen	F.eks. ændrede energipriser, ændret brændselsforbrug i erhvervene, ændret forbrugeradfærd mht. energi.	F.eks. betydning af øget brug af vindkraft og biomasse, ændringer i den forudsatte teknik i erhvervene og ændringer i det forudsatte forbrugsmønster.
b) virkning af økonomisk-politiske instrumenter i energipolitikken	Instrumenter: Afgifter (aggregeret niveau) Kvoter (aggregeret niveau)	Instrumenter: Afgifter Kvoter Tekniske normer Politiske målsætninger om f.eks. vindkraft og decentral kraftvarme
Prognoser	For det aggregerede energiforbrug i økonomien	For det aggregerede og disaggregerede energiforbrug - givet fuldt specificerede overgange til ny men kendt teknik.
Omkostningsberegninger	F.eks. samfundsøkonomiske omkostninger af en stigning i CO <sub>2</sub> -afgifterne. Beregningerne bygger bl.a. på estimerede relationer for forbrugeradfærd, producentadfærd, investeringsadfærd og på prisreaktionerne.	F.eks. driftsøkonomiske omkostninger af en stigning i CO <sub>2</sub> -afgifterne. Omkostningerne relaterer sig til ændret teknik. Kun investeringsomkostninger og ændrede driftsomkostninger (defineret snævert) medtages i beregningerne af omkostningerne.
Tilbageføring af afgifts-provenuer	Mulig	Ikke mulig
Udbygningsmuligheder	Aggregeret emissionsmodel for emissioner der er proportionale med energiforbruget - f.eks. CO <sub>2</sub> .	Disaggregeret emissionsmodel for energirelaterede emissioner - f.eks. CO <sub>2</sub> , svovl, lattergas.

Den systematiske forskel mellem beregninger gennemført på bottom-up- og top-down-modeller af omkostningerne ved en CO<sub>2</sub>-reduktion komplicerer valget af model.

I bottom-up-modellerne kan krav om reduktion af CO<sub>2</sub>-emissionerne have positive driftsøkonomiske effekter (negative omkostninger) - det kan de ikke i de makroøkonomiske modeller. De - ofte meget store - driftsøkonomisk rentable potentialer for energibesparelser, som afsløres i de teknisk-økonomiske modeller, "afvises" indirekte af de makroøkonomiske modeller som drifts- og samfundsøkonomisk rentable, idet disse modeller har som forudsætning, at agenterne handler økonomisk rationelt.

Den makroøkonomiske indvending mod bottom-up-modellens omkostningsberegninger angår *ikke* det tekniske potentiale for energibesparelser, men den driftsøkonomiske beregning: Er alle relevante omkostninger og barrierer (f.eks. finansielle) i forbindelse med overgang til ny teknologi medtaget? Virksomhedernes forventninger til fremtidige afsætningsforhold eller nye tekniske innovationer medtages ikke i beregningerne, men disse forhold har betydning for investeringsovervejelserne.

I Grubb (1990), kapitel 4, findes en liste over lovgivningsmæssige og andre barrierer mod energibesparelser (f.eks. manglende kendskab til ny teknologi). En række af disse barrierer vil det sandsynligvis ikke være forbundet med (nævneværdige) omkostninger at fjerne.

Et andet - metodisk - kritikpunkt er, at bottom-up-modellerne ikke tager højde for virksomhedernes samlede situation, hvilket kan illustreres med følgende eksempel. Antag to initialt identiske økonomier og antag en CO<sub>2</sub>-afgift indført i den ene. Umiddelbart efter CO<sub>2</sub>-afgiftens indførelse foretages bottom-up analyser af de to økonomiers energisystemer. Økonomien med den dyreste energi vil ifølge bottom-up-modellen have det største driftsøkonomiske potentiale for energibesparelser. Det er rigtigt, at de høje energipriser i den ene økonomi isoleret set vil bevirke, at virksomhederne har større incitament til at investere i CO<sub>2</sub>-besparende teknik. Men det er også rigtigt, at virksomhederne i økonomien med de høje energipriser konkurrencemæssigt, indtjeningsmæssigt osv. er dårligere stillet end virksomhederne i den anden økonomi - og at denne forskel *kan* bevirke, at det er mindre fordelagtigt at investere i ny teknologi i økonomien med det største driftsøkonomiske potentiale for energibesparelser end i økonomien med det mindste potentiale.

Kritikerne af de makroøkonomiske modeller fremhæver, jf. foregående afsnit, at antagelsen om rationelle agenter ikke holder. Som belæg herfor henvises bl.a. til konkrete undersøgelser af virksomhedernes energiforbrug. En række af disse undersøgelser afslører, at der er rentable energibesparende investeringer, som ikke er gennemført.

Det er et åbent spørgsmål, i hvor høj grad kritikken af de tekniske bottom-up-modeller er i stand til at rokke ved konklusionen om store, uudnyttede, driftsøkonomisk rentable potentialer for energibesparelser.

“Striden” mellem top-down- og bottom-up-tilgangen er fundamental i forbindelse med beregninger af omkostningerne ved at reducere energiforbruget og CO<sub>2</sub>-udslippet.

Der er, som tidligere nævnt, en række problemer forbundet med makroøkonomiske analyser og do. fremskrivninger af de tidligere østlandes energiforbrug. Bottom-up-modellerne vil derfor i mange tilfælde være de mest velegnede. Tilsvarende gælder for andre lande (f.eks. udviklingslande), hvor forudsætningerne bag de makro-økonomiske modeller ikke holder.

## 2.6 Er løsningen hybridmodellen?

De makroøkonomiske modeller og de tekniske mikromodeller har deres styrker og svagheder på forskellige områder. Spørgsmålet er, om de to modeller, ved en sammenbygning til en hybrid, vil supplere hinanden, sådan at den sammenbyggede model vil være “bedre” end hver af modellerne for sig.

Et andet relevant spørgsmål er, om en sammensmeltning af de to modeltilgange kan løse “striden” om de rentable energiinvesteringer.

I litteraturen om top-down og bottom-up-modellerne findes forskellige opfattelser af, om hybrid-modellen vil være en forbedring i forhold til de to modeller - og om det overhovedet er teoretisk muligt at integrere top-down- og bottom-up-modellerne. Dette illustreres af følgende citater:

“... efforts to develop improved analytic practices should not mainly be geared toward the development of one all-encompassing energy economic model, which would be huge, overly complex and non transparent, but to a codified sequence of steps that facilitates quality control, review of key inputs, and public participation”. Krause et al. (1993, side 6)

“These two ways of seeing and describing the world are conceptually incompatible”. Wilson og Swisher (1993, side 262).

“... the successful integration of process analysis and econometric models of energy policy is an important step in the development of a framework of energy policy...” Hoffman og Jorgenson. (side 464)

I bogen “Global Warming and Energy Demand” konkluderer Barker, Ekins og Johnstone (1995, side 311) at priselasticiteterne i makromodelle ikke bare skal tages for givne, men at strukturelle og teknologiske karakteristika i produktionen bør tages i betragtning.

“To some extent, the integration of bottom-up engineering-based energy models with top-down macroeconomic economic models has the potential to do this. However, this points to a complex and painstaking research agenda for the future”.

Formålet med at integrere bottom-up- og top-down-modelle må være:

- at den integrerede model har flere anvendelser (jf. tabel 2.3) end hver af modellerne, eller
- at den integrerede model kan give “bedre” svar end begge modellerne

Disse fordele må vejes op mod ulempen ved en større og sværere gennemskuelig model.

Selvom de to modeltilgange har tilnærmet sig hinanden, jf. tabel 2.2, er der et teoretisk spring til en egentlig sammenbygning af de to modeller i en “hybrid”. En sammenbygning af de to modeller vil nemlig indebære, at modelbyggeren tager stilling til de uudnyttede, rentable energibesparelses-potentialer.

Set ud fra dette synspunkt kan integrationen ske på følgende tre måder:

- Bottom-up-modellens beskrivelse (af energiforbrug, energiproduktion og varekøb) anvendes, hvor det er muligt. Makromodellen leverer priser, renter, vækstprocenter mv. til bottom-up-modellen og simulerer de makroøkonomiske effekter af bottom-up-beskrivelsen.
- Makromodellen bestemmer alle variabler, inklusiv energiforbruget. Bottom-up-beskrivelsen illustrerer, hvilke tekniske antagelser, der vil medføre makromodelens energiforbrug. Bottom-up-modellen kan evt. bruges til at sandsynliggøre den makroøkonomiske fremskrivning.
- Elementer fra begge modeller anvendes. Bottom-up-relationer, makroøkonomiske relationer eller evt. “kombinerede” relationer anvendes, hvor det skønnes hensigtsmæssigt.

De to første metoder til at integrere modellerne, repræsenterer hvert sit yderstandpunkt i striden om energibesparelspotentialerne, mens den tredje metode repræsenterer et

standpunkt derimellem. Metoderne kan vurderes ud fra det ovenfor skitserede formål med hybridmodellen.

Med hensyn til metode nr. to er det klart, at det ikke har megen mening, at integrere modellerne alene med henblik på, at bottom-up-modellen skal illustrere det makroøkonomisk bestemte energiforbrug. Vælger man at opbygge en hybrid, er det blandt andet for at tilføje den makroøkonomiske analyse nogle flere kvaliteter, og lade bottom-up-modellens resultater have en eller anden form for afsmittende effekt på makromodellen. En mulighed kunne være, at anvende makromodellen til prognoser og bottom-up-delen til visse specialanalyser - f.eks. til analyser af den makroøkonomiske effekt af tekniske normer eller ændret brændselsteknologi.

Det er muligt at opbygge en hybrid, hvor modelbrugeren kan *skifte* mellem de to første metoder for integration. Modelbrugeren har i dette tilfælde mulighed for at gennemføre mange forskellige analyser, og for at sammenligne de to forskellige bestemmelser af energiforbrug og -produktion. Sammenligningen kan eventuelt afsløre, hvilke delområder der beskrives bedst af enten bottom-up eller top-down modellen. Hvis dele af makromodellens energirelationer og dele af bottom-up-modellen er "slået til" samtidigt, vil integrationen svare til den ovenfor nævnte tredje metode.

Bottom-up- og top-down-modellerne kan fås som specialtilfælde af hybridmodellen, hvis hybridens relationer klart kan henføres til den ene eller den anden model.

Kombinerede - eller hybride - relationer kan tænkes i mange forskellige sammenhænge. Fra en makroøkonoms synspunkt kan det være oplagt med en teknisk beskrivelse af energiforbruget på kort eller mellemfristet sigt og en markøkonomisk beskrivelse af energiforbruget på lang sigt. En sådan beskrivelse kunne være oplagt for energi- og eventuelt kapitalintensive erhverv, præget af enkelte store virksomheder, eller få teknologier. Jo mere langsigtede investeringer, og jo bedre den fremtidige teknologi er kendt, des mere relevant vil bottom-up beskrivelsen være.

Fra et bottom-up-synspunkt kunne det være oplagt at indbygge agenternes økonomisk adfærd i de tekniske relationer. F.eks. kunne en endogenisering af virksomhedernes og forbrugernes teknologivalg lette prognose- og analysearbejde.

Enkelte, men vigtige, dele af bottom-up-modellen vil der være meget få problemer i at indbygge i en makroøkonomisk modelramme. Det gælder f.eks. for forsyningssektoren. Bottom-up-modellens beskrivelse af forsyningssektoren kan betragtes som en eller flere makroøkonomiske produktionsfunktioner. Investeringerne er langsigtede, der er relativt få teknologier, de forskellige teknologier og eventuelle teknologiskift har stor politisk bevågenhed. Disse forhold gør bottom-up-beskrivelsen interessant - også i en makroøkonomisk sammenhæng.

## 2.7 Den valgte Risø-hybrid

Hybris er Risø's hybrid mellem den makroøkonomiske ADAM-model og udvalgte bottom-up-del-modeller. Modelkonstruktionen beskrives indgående i de følgende kapitler. I dette afsnit beskrives Hybris i forhold til diskussionen i de foregående afsnit om teoretiske og metodiske aspekter ved top-down og bottom-up modeller.

ADAM (Annual Danish Aggregate Model) bygges og vedligeholdes af Danmarks Statistik. Modellen er keynesiansk, idet efterspørgselen bestemmer produktionen af varer og idet prisene er input-output-bestemte. En såkaldt phillipskurve beskriver en sammenhæng mellem efterspørgselspres i økonomien og lønstigninger.

Modellens tekniske side, input-output-teknologien, er indenfor de senere år blevet udbygget med erhvervsspecifikke investeringer og do. produktionsfunktioner. Input i produktionsfunktionerne er kapital, beskæftigelse, energi og materialer. Der er



substitution mellem kapital, beskæftigelse og energi, men substitutionseffekterne mellem kapital og beskæftigelse på den ene side og energi på den anden side er forholdsvis beskedne. Produktionsfunktionerne specificerer, hvilken indsats af produktionsfaktorer det kræver at producere et givet output - givet priserne.

Efterspørgsel og produktion af energi er beskrevet meget summarisk i ADAM - også selvom Danmarks Statistik i de senere år har gjort meget for at forbedre beskrivelsen. F.eks. er efterspørgselen efter energi ikke delt op på efterspørgsel efter *forskellige* energiformer (el, gas, olie, kul, osv.). ADAM er derfor ude af stand til at besvare en række spørgsmål relateret til energi.

BRUS (Brundtland scenario model) bygges og vedligeholdes af Risø. Det er en teknisk mikromodel af det samlede danske energiforbrug. Modellen er på få, men væsentlige, punkter knyttet til makroøkonomiske prognoser, bl.a. overføres de makroøkonomiske fremskrivninger af den erhvervsfordelte økonomiske vækst direkte. Dele af BRUS har dannet udgangspunkt for bottom-up modulene i Hybris. Det drejer sig om el- og varmemodulet og varme- og elforsyningsmodulet. Disse moduler er udbygget væsentligt i Hybris.

Baggrunden for valget af netop disse BRUS-moduler er, at sammenbygningen med ADAM er relativ nem for disse modulers vedkommende: Det har ikke været intentionen at lave gennemgribende om på ADAM-modellen - tværtimod har det været intentionen at bottom-up-modulene skulle forklare vigtige energi-variabler i ADAM, men i øvrigt lade ADAMs struktur være urørt. Det betyder, at top-down- og bottom-up- modellerne klart kan adskilles i den integrerede model. ADAM og bottom-up-modulene (med makroøkonomisk overbygning) kan dermed fås som specialtilfælde af Hybris-modellen. Valget, at lade ADAMs struktur være urørt, kan til dels forklare, hvorfor erhvervenes energiforbrug ikke er forsøgt beskrevet teknisk. Hvis en bottom-up beskrivelse af erhvervenes forbrug af forskellige brændsler skulle integreres i ADAM, ville det højst sandsynligt indebære gennemgribende ændringer i ADAM-modellen. Heller ikke energiforbruget til transport eller den offentlige sektors energiforbrug er forsøgt beskrevet teknisk.

Valget af forsyningssektoren er, jf. tidligere, begrundet i, at bottom-up beskrivelsen fungerer som en produktionsfunktion, at investeringerne har lang tidshorisont, at det er muligt at analysere effekten af alternative forsyningsstrategier i energipolitikken osv. Hertil kommer at forsyningssektoren har stor selvstændig betydning for de energirelaterede emissioner (sektoren stod i 1992 for ca. 50 pct. af den samlede danske CO<sub>2</sub>-emission).

Baggrunden for beskrivelsen af det private varmemeforbrug er dels størrelsen af energiforbruget, dels de relativt langsigtede investeringer. Der er intet i makromodeltraditionen, der strider mod, at varmemeforbruget beskrives teknisk, netop fordi investeringerne er langsigtede og varmemeforbruget vejer tungt i det samlede energiforbrug.

Til bottom-up beskrivelsen af det private elforbrug (bortset fra forbruget af elvarme) er der knyttet relativt større usikkerhed (f.eks. vedrørende introduktion af ny teknologi og nye apparater) end til beskrivelserne af varmemeforbruget og forsyningssektoren. På dette område er der stor sandsynlighed for uoverensstemmelse mellem de to modeltilgange - fordi bottom-up modellen med stor sandsynlighed vil afsløre et økonomisk rentabelt potentiale for energibesparelser.

Hybris er velegnet til at belyse sammenhængen mellem specifikke ændringer i det private elforbrug, det private varmemeforbrug eller forsyningssektoren på den ene side, og makroøkonomien på den anden side. Tilsvarende kan belyses effekten på det private el- og varmemeforbrug og på forsyningssektoren af ændringer i makroøkonomiske variabler.

Idet forsyningssektoren er så detaljeret beskrevet, at det enkelte værk kan identificeres, er det muligt at stille spørgsmål om f.eks. implikationen af ændrede brændselspriser for driften af en bestemt type værker. Også øget udbygning med vindkraft og biomasse kan undersøges.

Eksempler på anvendelser af - eller spørgsmål til - Hybris er:

Belysning af sammenhængen mellem den økonomiske vækst og udbygningsplaner i forsyningssektoren.

Ved hvilke kul-, olie- og gaspriser (eller ved hvilke energi- eller CO<sub>2</sub>-afgifter) begynder vindkraft at blive rentabel - hvor stor er energiefterspørgselen til disse priser - og hvad er udbygningsbehovet i forsyningssektoren - hvilke værker skrottes?

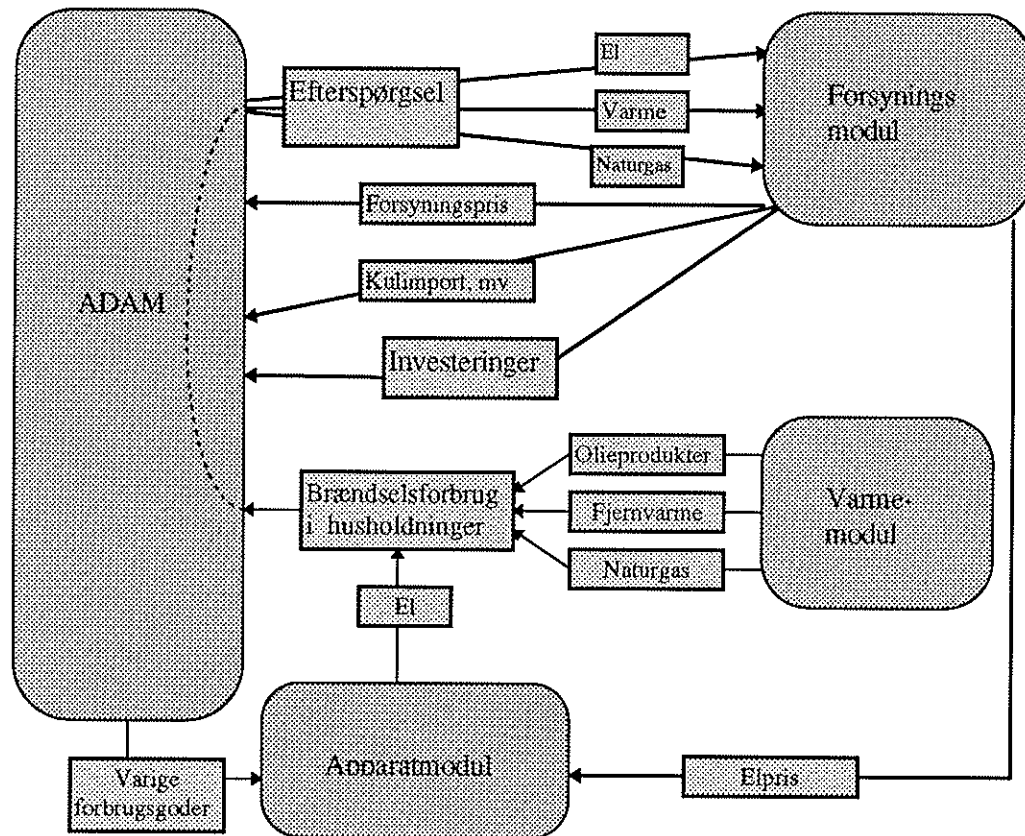
Hvad er konsekvenserne - for forsyningssektoren og den økonomiske aktivitet - af, at energieffektiviteten i ADAM-erhvervene og i elforbruget stiger kraftigere - eller svagere - end normalt antaget.

Hvad er effekten af at indføre tekniske normer i det private elforbrug (f.eks. udskiftning af alle fryser og køleskabe til lavenergi fryser og køleskabe i løbet af f.eks. 5 år)?

Hybris' tekniske moduler anvender en række input-variable fra ADAM-model-delen. Modulet kan dog relativt nemt overflyttes til andre makromodeller end ADAM - det kræver blot, at den nye makromodel forsyner bottom-up-modulet med de nødvendige input-variable. En tredje mulighed er at anvende bottom-up-modulet alene. I dette tilfælde kan modelbyggeren selv vælge sine værdier for input-variablet.

### 3. Struktur for sammenkobling

I Hybris er der foretaget en sammenkobling af en række bottom-up moduler for energiefterspørgsel og -udbud samt den makroøkonomiske model ADAM. Nedenfor er forbindelsen mellem bottom-up modulerne og ADAM skitseret.



*Figur 3.1 Struktur for sammenkobling af bottom-up moduler og ADAM*

En sammenkobling af teknisk-økonomiske og makroøkonomiske modeller indebærer en lang række valg af principper, ligesom der er en række metodiske og praktiske problemer forbundet med sammenkoblingen. De metodiske problemer af både mere teoretisk og praktisk art, som er relevante i dette såvel som andre lignende sammenkoblingsprojekter, gennemgås først.

Herefter er der medtaget en oversigt over de energirelevante dele af ADAM, hvor de mest oplagte elementer for en bottom-up beskrivelse siden hen identificeres.

Endelig gennemgås sammenkoblingen af de valgte bottom-up moduler på et overordnet niveau. Den mere udførlige gennemgang af sammenkoblingen af de enkelte moduler med ADAM findes i forbindelse med dokumentationen af de enkelte moduler i kapitlerne 4-6.

Til slut redegøres for nogle af de væsentlige egenskaber og analysemuligheder med det samlede modelsystem Hybris.

## 3.1 Hvorledes kan en sammenkobling foretages ?

### 3.1.1 Hvad indebærer forskellen i udgangspunkt for en sammenkobling af modeltyperne

De forskellige tilgange til modellering af det økonomiske og det energispecifikke system, der præger top-down og bottom-up modeller har implikationer for en sammenkobling af modellejerne. Der er både modeltekniske antagelser som helt tekniske problemer ved sammenkoblinger. Sammenkobling af modeltypene kan gennemføres efter forskellige principper og i en meget varierende grad af integrering. Nedenfor er der redegjort for de problemstillinger et forskelligt udgangspunkt rejser og de mulige løsninger, som kan vise sig ved et praktisk arbejde med sammenkobling af top-down og bottom-up modeller.

*Overordnet bestemmelse i en makromodel fremfor uafhængig delbestemmelse og senere aggregering i en bottom-up model*

Top-down modeller bestemmer i mange tilfælde en aggregeret størrelse f.eks. privatforbruget på et helt overordnet niveau, hvorefter der sker en opsplitning på diverse kategorier under en budgetrestriktion af den totale størrelse f.eks. det samlede privatforbrug. Derved er det nødvendigt for at opnå en bottom-up bestemmelse af en af forbrugskomponenterne f.eks. brændselsforbruget, at der sikres en opretholdelse af top-down modellens konsistens i det samlede privatforbrug. I en bottom-up model ville en ændret bestemmelse af en efterspørgselskomponent ikke volde nogen modeltekniske problemer, fordi der ofte ingen sammenhæng er med bestemmelsen af de øvrige efterspørgselskomponenter på samme niveau.

Der er flere alternativer for løsning af ovenstående problem, der her betragtes som en konkret justering af privatforbruget.

- ændring af top-down modellens beskrivelse af hele privatforbruget
- eksogenisering eller justering af den enkelte variabel og justeringer for at opnå konsistens i det totale privatforbrug
- justering af privatforbrugskomponenten udenfor den økonomiske del af systemet

Den første løsning indebærer en ændring af top-down modellen, således at man i varierende grad gennemfører en omlægning af makromodellen henimod en bottom-up tankegang. Dette er f.eks. tilfældet, hvis der for en større del af privatforbruget introduceres nye bestemmelser/relationer for privatforbrugskomponenter og det samlede privatforbrug herefter bestemmes som summen af komponenterne. Bottom-up princippet kan dog også gennemføres i mindre grad, hvis det kun er en mindre del f.eks. en komponent af privatforbrugssystemet som "pilles" ud. Der kan så foretages en reestimation af privatforbrugssystemet, hvor den nu udefra bestemte energikomponent trækkes ud af budgetrestriktionen. Begge disse løsninger indebærer et betydeligt arbejde med omformulering og reestimation af makromodellen.

Alternativt kan top-down modellens struktur for privatforbruget opretholdes og energikomponenten enten eksogeniseres helt eller påvirkes gennem justeringsled. Dette skaber umiddelbart nogen problemer i top-down bestemmelsen. Ved en eksogenisering fjernes konsistensen i forbrugssystemet, og det er ikke længere sikret at overensstemmelsen mellem den overordnede forbrugsbestemmelse og summen af privatforbrugskomponenterne er opretholdt. En eksogenisering må således ligeledes indebære en justering af de øvrige privatforbrugskomponenter, således at sumrestriktionen er opretholdt. Hvis en justering af de øvrige forbrugskomponenter skal være konsistent med top-down bestemmelsen, kan der ikke bare foretages en proportional justering af de øvrige forbrugskomponenter. Det må istedet sikres, at de enkelte

forbrugskomponenter ændres i overensstemmelse med en ændring af budgetrestriktionen, uden at der dog sker en faktisk ændring af budgetrestriktionen (det samlede privatforbrug).

Den tredje mulighed er helt at undlade en sammenkobling og bestemme brændselsforbruget i bottom-up modulene uden at justere det tilsvarende brændselsforbrug i makromodellen. Denne løsning har dog en hel del mangler, i og med effekten på de øvrige privatforbrugskomponenter ikke medtages og den indirekte påvirkning af energiforbruget via de øvrige privatforbrugskomponenter heller ikke opgøres. Samtidig vil effekten på de makroøkonomiske størrelser i øvrigt såsom betalingsbalance og forsyningssektor mangle.

For erhvervenes vedkommende er udgangspunktet mellem top-down og bottom-up ofte noget forskelligt, idet energiforbruget i bottom-up modeller kan være opgjort på end-uses, der er indbyrdes uafhængige. Top-down bestemmelsen vil derimod ofte være baseret på en overordnet relation for det samlede energiforbrug, hvor forbruget så fordeles på arter enten i et fast forhold eller med udgangspunkt i relative energipriser.

I ADAM tilfældet er der med den nye modelversion og modulene fra Strategiske Miljøforskningsprogram (SMP) anvendt en bestemmelse og fordeling, som beskrevet for top-down modellerne. En bottom-up beskrivelse af erhvervenes energiforbrug vil dermed typisk nå til et andet resultat end top-down modellen. En sammenkobling vil dermed som udgangspunkt indebære at enten den ene eller den anden models bestemmelse skal gælde.

Med ADAM erhvervsdetaljeringen er det ikke oplagt at beskrive erhvervene ved bottom-up modeller, men bottom-up modellerne kunne tænkes at bestemme energiforbruget på et detaljeret erhvervsniveau, hvor specifikke tekniske oplysninger kan være helt afgørende. De ADAM erhverv, hvor den teknisk baserede bottom-up bestemte del af energiforbruget er stor, kunne herefter tænkes at blive bestemt af bottom-up principper, mens de øvrige erhverv følger top-down specifikationen. En sådan løsning ville ikke umiddelbart indebære nogen praktisk inkonsistens i ADAM.

### *Fremskrivninger af effektiviteter og tekniske parametre*

En anden mulighed for at beskrive erhvervenes energiforbrug, der bibeholder hele top-down strukturen, er at udnytte ADAM relationernes koefficient for teknisk udvikling (energieffektivitet). I top-down bestemmelsen indgår trender i energieffektivitet, der er meget forskellige mellem de enkelte erhverv. Trenderne er indført i estimationsarbejdet med ADAM relationer for erhvervenes energiforbrug, og for de fleste af erhvervene er der tale om en lineær trend i energieffektiviteten, mens nogle af erhvervene også er beskrevet ved inddragelse af kvadratiske trender. De estimerede trender i energirelationerne indeholder en væsentlig del af det energiforbrugt, der ikke kan forklares af udviklingen i relativ energipris og bruttofaktorindkomst.

Trenderne er eksogene for fremskrivningerne med ADAM modellen og vil som udgangspunkt være fremskrevet med en uændret energieffektivitet. Dermed indeholder modellen en væsentlig eksogen påvirkning af energiforbruget i erhvervene. For en lang fremskrivning vil udviklingen i energieffektivitet være en meget afgørende faktor for bestemmelsen af niveauet for energiforbruget.

En bottom-up model vil ofte indeholde en bestemmelse af eller antagelser for energieffektiviteten på et disaggregeret niveau. Det er oplagt at lade en bottom-up model beskrive energieffektivitetens udvikling, idet udgangspunktet for bottom-up modellen vil være de tekniske muligheder uden hensyntagen til prisudviklingen for brændsler. På lang sigt vil bottom-up modellen derfor have afgørende betydning for bestemmelsen af erhvervenes energiforbrug i ADAM.

Sammenkoblinger af den ovenfor beskrevne art har dog set bort fra en del sammenhænge, der kunne have væsentlig betydning for energieffektivitetens udvikling. Investeringsforløbet i de enkelte erhverv må have en væsentlig betydning for i hvert fald den mere kortsigtede udvikling i energieffektivitet. Endvidere må energipriserne have en effekt ikke kun for teknologivalget i det enkelte erhverv, men også på den energiteknologiske udvikling på lang sigt.

### *Eksogenisering af top-down variable*

I det ADAM modellen er en efterspørgselsdrevet og meget anvendelsesorienteret makro-model, indeholder modellen justeringsled i næsten alle relationer, ligesom det er muligt at eksogenisere et stort antal relationer. Dette er ikke nødvendigvis tilfældet for andre top-down modeller, hvor f.eks. energiforbruget i erhvervene kan være bestemt sammen med det øvrige faktorinput og fordelingen på energiarter foregår i indbyrdes afhængige relationer. ADAM er gennemgående velegnet til sammenkoblinger, da der allerede er taget hensyn til ønsker om at kunne eksogenisere en lang række variable.

### *Ændring af io-koefficienter*

Ved en sammenkobling af bottom-up modeller og ADAM, der rækker ud over rene eftermodeller, vil det være nødvendigt at justere i ADAM modellens input-output system for specielt at indarbejde en bottom-up bestemt fordeling af energiforbruget på arter. Eftermodeller forstås her som modeller, der regner videre på output fra ADAM og evt. opsplitter en række ADAM variable uden at eftermodellens beregninger har virkning på ADAM variable.

En sådan sammenkobling kan foretages uden de store vanskeligheder i ADAM, da der basalt er benyttet faste input-output koefficienter for energivarene. I erhvervene kræver det overordnet bestemte energiforbrug selvfølgelig en modifikation, hvor der hovedsagelig sker en proportional justering af energikoefficienterne, så det samlede energiforbrug stemmer. For privatforbrug af brændsel er der ikke nogen overordnet koefficientjustering. Der er specielt for import af olieprodukter en speciel behandling, idet der for denne komponent er mulighed for at indlægge en trend f.eks. ved en forventet større andel af olieimport fremfor leverance fra raffinaderier. Justering af energikoefficienter må således i de fleste tilfælde afpasses efter en evt. justering af olieproduktimporten. En sammenkobling med ADAM kan på denne måde indebære, at et betydeligt antal ADAM variable indgår i beregningen af et enkelt justeringsled.

### *Udveksling af variable*

Der kan i sammenkobling af modeltyperne være behov for at overføre flere typer af variable. Variable, der skal indgå som primære input-variable i henholdsvis bottom-up modulet og top-down modellen, kan være af et ret begrænset omfang. Men den simultane struktur af top-down modellen kan nødvendiggøre, at der desuden udveksles et meget stort antal variable, som udelukkende benyttes til beregning af justeringsled til videre input i top-down modellen. Udveksling af variable stiller endvidere krav til modelfaciliteterne for opdatering og udskrivning af variable.

### *Definitioner af energivarer, udenrigshandel og enheder*

Der kan mellem top-down modellen og bottom-up modellen vise sig store forskelle på flere punkter

- energivarer er defineret forskelligt eller mangler helt i top-down modellen
- der benyttes forskellige enheder for energi

- opsplitning på indenlandsk og udenlandsk energileverance er ikke foretaget i bottom-up modellen
- top-down modellen behandler ikke energivaren som en vare, men er derimod opdelt efter det leverende erhverv eller import

Bottom-up modellen vil ofte have en meget detaljeret bestemmelse af energiforbruget med hensyn til arten. Denne opdeling på energiarterne vil ikke nødvendigvis kunne aggregeres til noget som passer ind i top-down strukturen. Det kan således være nødvendigt med et yderligere sæt af antagelser for at komme fra bottom-up modellens energiarter til top-down modellens. Samtidig kan der være en helt basal forskel i det datagrundlag som benyttes. Ofte vil top-down modellen være baseret på nationalregnskabsdata, hvor bottom-up modellen ikke er bundet af sådanne begrænsninger.

### *Iterering versus integration*

Sammenkobling af top-down og bottom-up modeller, hvor man ønsker at belyse samspillet mellem de 2 modeldele, kan foretages som enten en integrering af de 2 dele til en samlet model eller som 2 dele, der simuleres et antal gange hver, og efter hver overordnet iteration leverer data til den anden del. Det mest gennemgribende er at integrere de 2 modeller, men i praksis kan løsningen med iterationer mellem modeldelene godt give de samme egenskaber som en integration. Samtidig er løsningen med 2 modeldele noget enklere at håndtere og specielt er det meget enklere at ændre i de 2 modeldele uafhængigt af hinanden. Således kan bottom-up delen ændres meget betydeligt, uden at dette behøver at få betydning for sammenkoblingen med top-down delen.

### *Forskel i modelstruktur*

De 2 modelleres tilgange er almindeligvis også forskellige hvad angår strukturen. Top-down modellerne inkluderer et meget stort antal simultane sammenhænge, mens dette er af begrænset omfang i bottom-up modellerne. Top-down modellerne er endvidere ofte mere teoretisk indviklede end bottom-up modellerne, hvorfor modelændringer på et enkelt område i en top-down model kan have meget sammensatte effekter for modellens samlede egenskaber. Modelændringer i bottom-up modellerne er derimod noget enklere at gennemføre.

Top down modellens simultane struktur medfører, at sammenkobling af de 2 modeltyper ofte nødvendiggør et antal iterationer med udveksling af data før en samlet løsning findes.

Alternativt kan sammenkoblingen foretages i form af rene formodeller eller eftermodeller. Denne form for sammenkobling kan være udmærket, hvis ønsket er at beregne energiforbrug på basis af fælles forudsætninger for energipriser (formodel) og samfundsøkonomiske størrelser (top-down model) og derefter i bottom-up moduler bestemme energiforbruget ud fra disse fælles antagelser. Med denne form for sammenkobling ses dog helt bort fra påvirkningen fra bottom-up modulernes energiforbrug, investeringer og evt. prisbestemmelse til samfundsøkonomien og de konsekvenser, der vil være for energiforbruget. For en vis samordning af forudsætninger er denne type løsning dog udmærket.

## **3.2 Energi i ADAM**

Energi er ikke en væsentlig del af ADAM, men energivarer er en integreret del af ADAM og indgår i mange sammenhænge. For at identificere de relevante områder for en bottom-

up beskrivelse af energiforbrug og -forsyning er det nødvendigt med et detaljeret kendskab til de relationer og sammenhænge i ADAM hvori energi indgår. Nedenfor er der i detaljer redegjort for behandlingen af energi i ADAM. Den detaljerede beskrivelse af energirelationer hænger sammen med de konkrete sammenkoblingsbeskrivelser af enkeltrelationer i kapitel 4.

### 3.2.1 Modelversion, type og overordnede egenskaber

I Hybris er der i den konkrete sammenkobling med bottom-up modulene anvendt marts 95 versionen af ADAM. Der er med denne modelversion sket betydelige ændringer af bl.a. erhvervenes faktorefterspørgsel, herunder erhvervenes energiefterspørgsel.

ADAM er som udgangspunkt en traditionel efterspørgselsdrevet makromodel, baseret på en input/output struktur. Med den seneste modelversion er modellen blevet lidt mere langsigtet med mere fleksibilitet mellem input af produktionsfaktorer i erhvervene.

For en introduktion til ADAM henvises til bilaget herom. En mere udførlig gennemgang af oktober 1991 versionen af ADAM foreligger i Danmarks Statistiks dokumentation heraf. For den nye modelversion vil en overordnet dokumentation foreligge en gang i 1996. Der findes allerede et omfattende antal arbejdspapirer omhandlende modelrevisionen samt en variabelfortegnelse og beskrivelse.

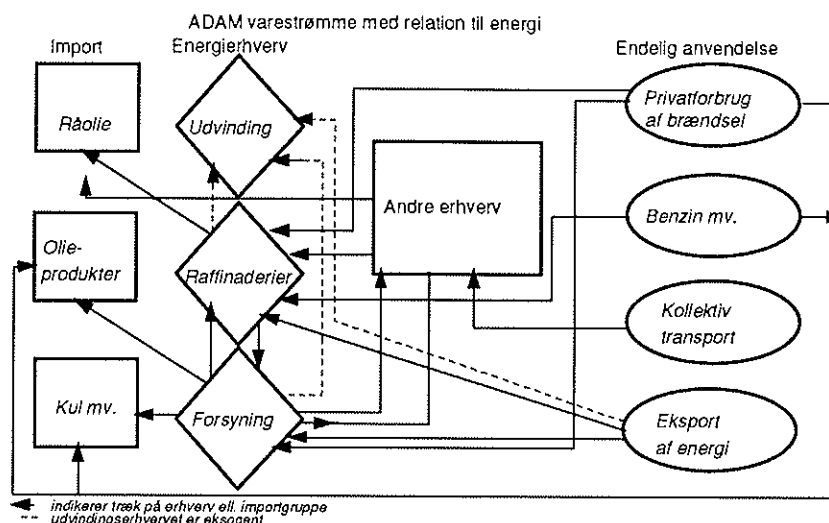
### 3.2.2 Efterspørgsel efter energi

Energi er forholdsvis detaljeret beskrevet i ADAM set ud fra, at det er en generel makromodel, der anvendes i centraladministration, forskningsinstitutioner samt arbejdsmarkedets og erhvervenes organisationer. Inddragelse af hele 3 energierhverv udvindingssektoren (*e*), forsyningssektoren (*ne*) og raffinaderierne (*ng*) ud af 22 erhverv hænger sammen med brugernes ønsker om at kunne regne på betalingsbalance, energiprisernes påvirkning af økonomien og den danske olie- og gasproduktion.

Ændringen i beskrivelsen af erhvervenes energiforbrug, der introduceredes i den nye modelversion, (marts 1995) skyldes ønsker om at kunne regne på miljøforhold i tilknytning til energiforbruget, men er i lige så høj grad baseret på en konstatering af, at energi er et specielt materialeinput i produktionsprocessen. Således har Danmarks Statistik opstillet sammenhænge mellem input af kapital, arbejdskraft og energi, men det har lige som i udenlandske tilfælde vist sig vanskeligt at økonometrisk kvantificere sådanne sammenhænge. Derfor er der i marts 1995 versionen af ADAM indbygget relationer for energiforbruget i erhvervene, hvori kapitalinput og arbejdskraftinput ikke indgår direkte. Relationerne bygger på et omfattende estimationsarbejde, men der er konstateret vanskeligheder med at opnå fuldt tilfredsstillende resultater i nogle erhverv.

Figur 3.2 illustrerer modellens energimæssige sammenhænge med udgangspunkt i energierhvervene og de endelige anvendelseskomponenter med energiindhold.





**Figur 3.2 ADAM varestrømme med relation til energi**

### Privatforbrug

Det samlede privatforbrug i ADAM er bestemt af de samlede disponible indkomster og den private formue. Dette privatforbrug fordeles på 8 forbrugskomponenter i et system med relative priser og en budgetrestriktion i form af det samlede privatforbrug. Ud af de 8 forbrugskomponenter er de to direkte energiforbrugene.

Forbruget af brændsel ( $fCe$ ) udgør i 1994 5.8% af det samlede privatforbrug og bestemmes i DLU (det lineære udgiftssystem) under restriktion af det samlede privatforbrug og under hensyntagen til relative priser mellem de 8 forbrugskomponenter i DLU. Der indgår et udtryk for antal frostdøgn i bestemmelsen. Indkomstelasticiteten på lang sigt er tæt på 1, mens den kortsigtede priselasticitet er meget lav (-0.18). På langt sigt nærmer denne sig dog også 1. Relationen for  $fCe$  kan eksogeniseres og indeholder endvidere justeringsled, hvorved brugeren kan justere på privatforbruget af brændsel.

Leverancer til det private forbrug af brændsel kommer fra følgende erhverv og importgrupper.

**Tabel 3.1 Leverancer til privatforbrug af brændsel ( $fCe$ )**

Leverende sektor	Koefficient til privatforbrug af brændsel 1994
Leverance fra forsyningssektor, $anece$	0.562
Leverance fra raffinaderier, $angce$	0.096
Leverance fra udvinding, $aece$	0.000
Leverance fra import af kul, $am3kce$	0.001
Import af olieprodukter, $am3qce$	0.057
Sum af energi	0.716

Kilde: ADAM databank (september 1995)

Koefficienterne i tabellen er definerede, så der målt i faste priser leveres 56.2% af  $fCe$  fra forsyningserhvervet. Forsyningssektoren leverer således godt 78% af energiinputtet i brændselsforbruget. Forsyningssektorens andel af energiinputtet er fast (eksogen) i fremskrivninger, hvor der kun i modellen foregår substitution mellem leverance fra raffinaderier ( $angce$ ) og importleverance ( $am3qce$ ). De resterende leverancer udover energien i Tabel 3.1 stammer fra handel, finans, faktorindkomst, skatter mv.

Forbrug af benzin og olie ( $fCg$ ) til køretøjer bestemmes særskilt ud fra antallet af biler samt en relativ pris på benzin. Endvidere er der indlagt en trend for forbedret benzinøkonomi. Privatforbrug af benzin og olie til køretøjer udgjorde i 1994 3.7% af det samlede privatforbrug. Leverancerne af energi til denne forbrugskomponent var i 1994 fordelt således:

Forsyningssektor:  $= 0$   
 Raffinaderier:  $angcg = 0.220$   
 Import af olieprodukter:  $am3qcg = 0.118$

Substitution mellem ovennævnte leverende sektorer kan indbygges via  $j$ -led.

Forbrug af kollektiv transport mv. ( $fCk$ ) bestemmes i DLU, idet der her indgår en forbrugskomponent for transport mv. Denne opsplittes i de allerede bestemte forbrug af benzin samt et udtryk for anvendelse af bilparken. Herefter fremtræder kollektiv transport residuelt. Forbrugsandelen var i 1994 på 4.7%.

Leverancer af energi til kollektiv transport er nul, idet energiforbruget finder sted i transporterhvervet. Således udgør koefficienten for transporterhvervets leverance til kollektiv transport ( $aqtck$ ) 0.817 i 1994 og koefficienten for leverance af søtransport ( $aqsck$ ) udgør 0.107. Energiforbrug i kollektiv transport indgår således kun indirekte gennem transportsektornes energiforbrug.

### *Energiinput i erhverv*

Energiinput i erhvervene er i den nye modelversion bestemt uafhængigt af input af kapital og arbejdskraft. Energiinputtet er bestemt af udviklingen i bruttofaktorindkomst (BFI) for erhvervet og den relative pris mellem erhvervets inputpris på energi og erhvervets BFI deflator. I det omfang BFI deflatoren påvirkes af ændringer i kapital og arbejdskraftinput, vil der være en sammenhæng mellem kapital-arbejdskraft og energiinput. Endvidere indgår antallet af frostdøgn samt lineære og kvadratiske trender i bestemmelsen af energiforbruget.

Erhvervenes energipris indeholder både erhvervsspecifikke energifgifter og erhvervspecifikke avancesatser for energiinput.

Erhvervenes energiefterspørgsel dækkes af 3 importerede energivarer, leverancer fra forsyningserhvervet ( $ne$ ) og raffinaderierne ( $ng$ ). Derudover efterspørger raffinaderier, forsyningssektoren, privatforbrug og eksport af energi råolie eller naturgas leverancer fra udvindingserhvervet ( $e$ ).

Forsyningssektorens er den sektor som næst efter raffinaderierne har den største andel af energiinput.

**Tabel 3.2 Materialeinput i forsyningssektoren (foreløbige 1992 tal).**

Leverende sektor	Andel	Leverende sektor	Andel
udvinding af olie mv.	35%	Import af kul mv.	29%
bygge- og anlæg	16%	andre tjenester	9%
egen leverance	6%	andre erhverv	5%

Kilde: ADAM databank 1994 version

### *Lagerinvesteringer i energi*

Der er i modellen lagerinvesteringer for både produkter fra de 3 indenlandske energierhverv samt de 3 importkategorier.

Lagerinvesteringer bestemmes i ADAM efter kapitaltilpasningsprincippet som en lagerkvote i forhold til en forventet afsætning samt en tilpasningshastighed. Tilpasningen er for de fleste komponenter umiddelbar, da der er tale om årsdata.

Der er ikke indbygget følsomhed for lageromkostninger i bestemmelsen af lagerinvesteringerne. Relationerne for alle 6 lagerinvesteringskomponenter med energiindhold er estimerede.

Både for lagerinvesteringer i forsyningserhvervet (*ne*) og olieraffinaderier (*ng*) er den marginale lagerkvote eksogen og normalt fastsat til 0, hvilket er ensbetydende med eksogene lagerinvesteringer for disse 2 komponenter. For udvinding af olie og naturgas er lagerkvoten fastsat efter et skøn til 0.05.

### *Eksport af energi*

Eksport af olieprodukter (*fe3*) er eksogen. Der er ikke yderligere opsplitning af denne eksportkomponent, som indeholder en blandet sammensætning af råolie, naturgas, forarbejdede olieprodukter fra raffinaderierne og eleksport.

## **3.2.3 ADAM modellens energisektorer og udbud af energi**

### *Energisektorer*

I modellen indgår 3 sektorer med direkte relation til energi:

Udvinding af brunkul, råolie og naturgas: *e*

Olieraffinaderier: *ng*

El-, gas- og fjernvarmeforsyning: *ne*

El-, gas- og fjernvarmeforsyning står for en betydelig andel af brændselsforbruget i ADAM og er samtidig nuanceret beskrevet i forhold til udvindingserhvervet, der hovedsageligt betragtes som eksogent. Samtidig er det i denne sektor at bottom-up modellering af erhvervet er fundet mest oplagt. Raffinaderierhvervet har primært input som råolie, hvorved der ikke knytter sig brændselssubstitutionsmæssige overvejelser til dette erhverv.

### *Import af energi*

ADAM indeholder 3 importkomponenter for energi.

Import af råolie: *fm3r*

Import af kul: *fm3k*

Import af forarbejdede

olieprodukter; *fm3q*

Forsyningssektoren er den dominerende efterspørger af import af kul, idet der aftages 80% af kulimporten (*fm3k*). I fremstilling af byggematerialer anvendes yderligere 12% af kulimporten (1992-tal).

Importen af råolie (*fm3r*) indgår for knap 100% vedkommende i raffinaderierne produktion.

Til gengæld er import af olieprodukter (*fm3q*) afhængig af efterspørgsel fra en del erhverv og endelige anvendelseskomponenter. Heraf udgør energierhvervene godt 20% af

den samlede efterspørgsel, privatforbrug af brændsel ca. 18% og privatforbrug af benzin ca. 8%. De fleste inputkoefficienter for import af olieprodukter er endogene.

Importen af olieprodukter ( $fm3q$ ) kan for en betydelig del substitueres af indenlandsk leverance fra raffinaderierne. Der kan således indlægges en trend i bestemmelsen af ( $fmz3q$ ), som er den substituerbare del af importen. Importleverancerne til raffinaderier, forsyningssektor, lagerbeholdninger og reeksport kan ikke substitueres. En trend i importdelen af olieproduktinputtet ( $fm3q$ ) modsvares i udviklingen i raffinaderiernes indenlandske leverance ( $ang_r$ )

### 3.2.4 Produktion i energierhvervene

Produktionsværdien i forsyningssektoren bestemmes af udviklingen i erhvervenes energiefterspørgsel og udviklingen i de endelige anvendelseskomponenter som indeholder energi.

Forsyningssektorens produktionsværdi ( $fxne$ ) bestemmes som nedenfor gengivet med koefficienter fra 1992 (koefficienter multipliceret med 100). Koefficienterne angiver den leverance til det respektive erhverv eller endelig anvendelse der er nødvendig som input, for at et erhverv kan opretholde en given produktion. Koefficienten er opgjort som en andel af erhvervets produktion, og det er gennemgående antaget, at denne inputandel af produktionen er konstant over tid.

$$fxne = 1.1*fxa + 0.2*fxng + 3.7*fxne + 1.1*fxnf + 0.9*fxnt + 1.7*fxnn + 1.8*fxnb + 1.1*fxnm + 1.9*fxnk + 1.1*fxnq + 0.2*fxb + 1.0*fxqh + aneqs*fxqs + 0.5*fxqt + 1.1*fxqf + 1.1*fxqq + 0.1*fxh + 3.7*fxov + 47.7*fce + filne + 3.1*fe3$$

Den dominerende komponent i bestemmelsen af forsyningssektorens produktion er således privatforbruget af brændsel, hvortil leverancen udgør knap 45% (1994) af forsyningserhvervets produktion. Andre betydende leverancer går til næringsmiddelindustri, offentlige tjenester, handel samt øvrige tjenester. Leverancen til eksport svinger ret kraftigt, men den største del af svingningen i faktisk nettoimport af el tillægges importkomponenten ( $fm3q$ ), som udover forarbejdede olieprodukter indeholder elimport.

Raffinaderiernes produktionsværdi er hovedsagelig bestemt af endelige efterspørgselskomponenter idet 26.3% af energiekspert ( $fE3$ ), 9.6% af privatforbrug af brændsel ( $fCe$ ) og 22% af benzin og olie til køretøjer ( $fCg$ ) leveres fra raffinaderierne.

Produktionsværdien i udvinding af olie og gas mv. ( $fxe$ ) er eksogen, idet øget raffinaderiproduktion udelukkende trækker på import af råolie.

### 3.2.5 Investeringer indenfor energierhverv

Investeringer indenfor energierhvervene behandles på lidt forskellig vis. Således foretages en opsplitning af investeringer indenfor udvinding af olie og gas på 3 komponenter.

$fieb$  bygnings- og anlægsinvesteringer i e-sektor herunder naturgasledning. (eksogen)

$fjem$  investering i maskiner mv. til e-sektor. (eksogen)

$fjy$  investeringer i skibe, fly og **boreplatforme**. (investeringskomponent trukket af søtransport,  $qs$ -erhvervet)

Endvidere indeholder modellen en variabel ( $fibe$ ) for den nationalregnskabsopgjorte investering i bygninger og anlæg i udvindingsektoren.

Raffinaderierne og forsyningserhvervets investeringer er bestemt endogent i ADAM og efter nogenlunde identiske principper. Maskininvesteringerne i de 2 erhverv bestemmes ud fra en tilpasning i kapitalapparatet mod et ønsket kapitalapparat, som er bestemt af

erhvervsspecifikke lønomkostninger og kapitalomkostninger, der begge er produktivitetsskorrigerede, samt udviklingen i produktionen.

De samlede private bygge- og anlægsinvesteringer bestemmes på baggrund af forventninger til produktionsstørrelse i form af udvikling i produktion i de foregående perioder, samt et usercost udtryk bestemt på baggrund af obligationsrenten, forventet selskabsskattesats og den forventede udvikling i outputpris bestemt fra udviklingen i outputpris de seneste 7 perioder. Usercost indeholder således rente, selskabsskattesats, skattemæssige afskrivningsregler, forventet prisudvikling for kapitalgodet repræsenteret vedt outputprisen og fysiske afskrivningsrater.

De samlede bygge- og anlægsinvesteringer fordeles herefter på erhvervene. Dette sker ved at erhvervenes bygningsinvesteringer i sidste periode fremskrives med væksten i de totale bygningsinvesteringer (*fibp-fieb*) og den gennemsnitlige vækstrate i erhvervets BFI de seneste 3 år. En korrektionsfaktor (*kfibp*) sikrer at summen af erhvervenes bygningsinvesteringer svarer til den overordnede bestemmelse af bygningsinvesteringer.

Bygningsinvesteringer for det enkelte erhverv er således uafhængige af inputstruktur og relative priser for dette erhverv. Afskrivninger er identiske for samtlige erhvervs bygningsinvesteringer, idet der benyttes en afskrivningsrate på 3% af bygningskapitalen, således at bygningskapitalen i det enkelte erhverv vokser med bruttoinvesteringen fratrasket 3% af bygningskapitalen året før. På aggregeret niveau for bygningsinvesteringer udvikler afskrivningerne sig som en afskrivningsrate på 0.0158 af nettoinvesteringen lagget 3/4 år.

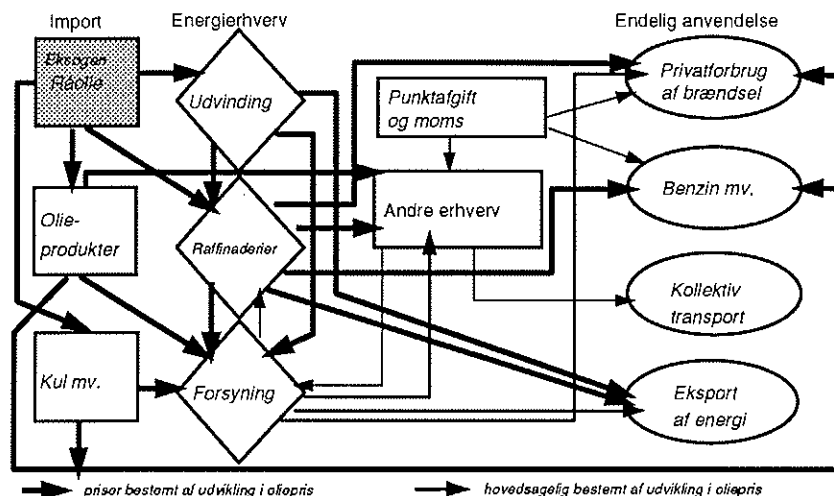
Produktionsværdiudtrykket *fxvb* i bestemmelsen af bygningsinvesteringer indeholder en vægt for forsyningserhvervet på 3.5 svarende til en meget høj kapitalkvote for bygninger i forsyningssektoren, hvorimod den tilsvarende kvote for raffinaderierhvervet kun er 0.5.

Totale afskrivninger for bygninger kan eksogeniseres, ligesom der er justeringsled i relationerne for usercost og bygningsinvesteringer i alt.

Forsyningserhvervets bygningsinvesteringer følger ikke udtrykket for de samlede private bygningsinvesteringer (*fibp-fieb*). Derimod tillægges det foregående års bygningsinvesteringer i forsyningserhvervet, den absolutte udvikling i differencen mellem den eksogene *fieb* og den beregnede nationalregnskabsstørrelse *fibe*. Dette skyldes spørgsmålet om hvilket erhverv investeringer i naturgasledningen skal henføres til. Herefter fremskrives udtrykket i lighed med de øvrige erhverv med den gennemsnitlige vækst i BFI i erhvervet de foregående 3 år.

### 3.2.6 Energipriser

Prisen på energi har en vis indflydelse på hele ADAM systemet. Energipriserne indgår generelt som eksogene eller som en afhængig af andre eksogene energipriser. Prisen på importeret råolie (*pm3r*) er den helt afgørende energipris i ADAM og fastsættes eksogent. Denne pris bestemmer i højere eller mindre grad udviklingen i samtlige energipriser som illustreret i nedenstående figur .



**Figur 3.3 Energifrisernes betydning i ADAM**

Følgende energipriser følger den relative udvikling i  $pm3r$ :

$pm3q$  importpris forarbejdede olieprodukter, naturgas, el mv.

$pm3k$  importpris kul og koks

$pe3$  eksport af brændselsstoffer, smøreløler mv. (SITC 3)

Der indgår i udtrykkene for  $pm3q$  og  $pm3k$  en korrektionsfaktor  $kpm3q$  og  $kpm3k$  for indlæggelse af en faktor på prisstigningstakten for råolie. Normalt sættes denne til 1. Endvidere følger prisen på udvinding af olie og gas ( $pxe$ ) udviklingen i olieprisen.

Priserne på de øvrige erhvervs produktion påvirkes gennem prisen på deres energiinput ( $pve_j$ ). Heri indgår både energileverancer fra det indenlandske energierhverv ( $ne$ ) samt de direkte importleverancer  $m3q$ ,  $m3r$  og  $m3k$ .

$pxne$ , prisen på el, gas og fjernvarme produktion afhænger af brændselspriserne, men da brændselsinputtet kun udgør en del af det samlede input, er prispåvirkningen fra olieprisen ikke så stor, som for de ovenfor nævnte priser.

For erhvervenes pris på energi er der en betydelig sammenhæng med olieprisens udvikling, idet virkningen dog er varierende mellem erhvervene afhængig af sammensætningen af deres energiinput.

Privatforbrugskomponenterne, med energiindhold, privatforbrug af brændsel ( $fce$ ) og privatforbrug af benzin til køretøjer mv. ( $fcb$ ), vil ikke have samme prispåvirkning, da der her er en større andel af konverteret energi ( $fce$ ), og især da der er et betydeligt indhold af afgifter og moms i forbrugerprisen.

Forsyningssektorens outputpris er bestemt med udgangspunkt i omkostninger til maskinkapital, bygningskapital, lønninger, energiforbrug og øvrigt materialeforbrug. De nævnte omkostningselementer bestemmer et udtryk for de samlede enhedsomkostninger, der herefter sammen med udviklingen i produktionen de foregående perioder indgår i bestemmelsen af outputprisen ( $pxne$ ).

Relationen for  $pxne$  kan eksogeniseres, ligesom der er flere muligheder for justeringsled i prisdannelsen.

Raffinaderiernes outputpris ( $pxng$ ) bestemmes på lignende vis.

I de nye relationer for erhvervenes energiforbrug er der indeholdt afgifter og avancer, således at erhvervenes energipris bestemmes som

$$pve_j = \frac{(1 + btgx_j \cdot tg) (tve_j + bhve_j pxqh + (ang_j pxng + ane_j pxne + am3q_j (pm3q + tm3q)) kpve_j fx_j fve_j^{-1})}{(3.1)}$$

hvor  $tve_j$  er afgiftssats og  $bhve_j pxqh$  er avancesats. Erhvervenes inputpris afhænger således af prisen på 3 energinput: forsyningsvarer ( $pxne$ ), raffinaderiprodukter ( $pxng$ ) og importerede olieprodukter inkl. told ( $pm3q + tm3q$ ).

Hermed er det relativt enkelt at indføre erhvervsspecifikke afgiftssatser, hvilket f.eks. kan gøres ved at anvende formodellen BRAS (et formodul til beregning af afgifter konstrueret af Danmarks Statistik), ligesom der kan indarbejdes differentierede basispriser på energivarer mellem erhvervene. Dette kunne f.eks. være aktuelt med hensyn til markante ændringer af prispolitikken på naturgas eller el. Endvidere kan denne avancesats også benyttes til at afspejle forskelle mellem erhvervene i sammensætningen af energivarerne fra forsyningssektoren eller de importerede olieprodukter.

### 3.3 Hvilke dele af ADAM er relevante for en sammenkobling

#### 3.3.1 Forsyningserhvervet

De 3 nationalregnskabserhverv el-, gas- og varmforsyning udgør i ADAM et forsyningserhverv benævnt *ne*, som hører under gruppen af fremstillingserhverv.

Forsyningserhvervet er et af de oplagte emner for en bottom-up beskrivelse. Dette hænger sammen med de meget langsigtede investeringsbeslutninger og sammenhæng med politisk bestemte omlægninger af strukturen i energiforsyningen.

Endvidere er forsyningssystemet af afgørende betydning ved alle beregninger af bruttoenergiforbrug og emissioner, både fordi konverteringen af energi i forsyningserhvervet udgør en stor del af bruttoenergiforbruget og fordi omlægninger i forsyningssystemet indebærer store muligheder for emissionsreducerende tiltag.

Samtidig er forsyningssystemet relativt let at specificere med et begrænset antal producerende enheder og et velunderbygget datagrundlag. Forventningerne til udviklingen i de tekniske muligheder omkring virkningsgrader, Cm-værdi (fast forhold mellem el og varmeproduktion på kraftvarmeværker) og Cv-værdier (tab af elproduktion ved varmeproduktion på centrale kraftvarmeværker/udtagsværker) er samtidig velunderbyggede.

Det er specielt for forsyningssystemet mere ligetil at forudsætte, at den mest effektive teknologi virkelig implementeres ved udbygning af produktionskapaciteten, ligesom tidspunktet for implementeringen er mere nøjagtigt givet. Den ofte forekommende uoverensstemmelse mellem manglende implementering af økonomisk fordelagtige investeringer i bottom-up modeller ("no regrets") og top-down modellemes antagelse om profitmaksimerende (nyttmaksimerende) adfærd gør sig kun i mindre grad gældende på forsyningsområdet.

#### 3.3.2 Privatforbrug af brændsel og transport

De to forbrugskomponenter i ADAM, som er mest energirelaterede, er privatforbrug af brændsel ( $fCe$ ) og privatforbrug af benzin og olie til køretøjer ( $fCg$ ). Begge komponenter er egnede til en bottom-up beskrivelse ud fra et energimæssigt synspunkt.

Endvidere kunne det også være interessant at inddrage bottom-up modeller for forbruget af kollektiv trafik ( $fCk$ ).

Forbrug af brændsler i husholdninger omfatter 2 komponenter, som er ret uafhængigt bestemt

- elforbrug til apparater og belysning
- energiforbrug til opvarmning

Begge disse komponenter er ofte blevet beskrevet ved bottom-up modeller. Elforbrug til apparater er oplagt at beskrive ved apparatmodeller, som inddrager oplysninger om bestandsstørrelser, effektiviteter og tætheder. Energiforbrug til opvarmning kan beskrives med udgangspunkt i en bestemmelse af opvarmningsbehovet og de teknologier, som anvendes hertil. For opvarmningsdelen kan der vælges en detaljeret bestemmelse af de rørførte opvarmningsformer med hensyn til dækningsgrader og tilslutningsgrader eller en mere overordnet opgørelse af teknologiernes andele.

Privatforbrug af benzin og olie til køretøjer kunne meget oplagt bestemmes ud fra antallet af køretøjer, benzineffektiviteter og gennemsnitlige kørselsbehov/forbrug. Evt. kunne der etableres en sammenhæng mellem privatbilismens kørselsbehov og efterspørgslen efter kollektiv transport.

### **3.3.3 Erhvervenes energiforbrug**

Erhvervenes energiforbrug er i ADAM modelleret relativt detaljeret. Endvidere er der i det strategiske miljøforskningsprojekt (SMP) sket en væsentlig udvidelse af beskrivelsen af erhvervenes energiforbrug, idet der foretages en emissionsrelevant opsplitning af det enkelte erhvervs energiforbrug fordelt på en række arter. Der er dog i begge tilfælde tale om en top-down specifikation, hvor først det totale energiforbrug bestemmes i ADAM, hvorefter brændselsefterspørgslen fordeles ud på arter.

En bottom-up beskrivelse er relevant, men den vil skulle foretages på et noget mere disaggregeret niveau end ADAM sektoropdelingen, og det vil bestemt ikke være for alle erhvervene, at bottom-up beskrivelsen vil være bedre end den ovenfor skitserede bestemmelse.

En bottom-up beskrivelse kunne dog også koncentreres om at bestemme den erhvervsspecifikke udvikling i energieffektiviteten, som de ovenfor nævnte top-down specifikationer opgør men ikke forklarer og derfor dårligt kan fremskrive. En sammenkobling af de to principper er på dette punkt ikke så vanskeligt, idet man dog må være opmærksom på, at top-down specifikationen indeholder de langsigtede virkninger af ændringer i brændselspriser, hvilket kan inkludere en hurtigere introduktion af mere energieffektivt kapitalapparat. Således må bottom-up modellen skulle forklare den effektivitetsudvikling, som finder sted til priser, som på en eller anden måde svarer til uændret relativ energipris.

### **3.3.4 Produktionen af olie og gas samt beholdningerne heraf**

Produktionen fra Nordsøen af olie og gas er eksogen i ADAM. Dermed er det oplagt i forbindelse med lange fremskrivninger, som bør vise konsistens mellem energiresourcer og energiforbrug, at holde styr på sammenhængen mellem ressourcer og produktion fra dansk side. Det kan ligeledes være interessant at belyse konsekvenserne af omlægninger i forsyningssystemet, varmenettene og naturgasnettet i sammenhæng med udnyttelsen af de danske olie og især gasressourcer. Disse spørgsmål er også relevante ved betragtninger omkring udenrigshandel og betalingsbalance.

Det samme ressourcespørgsmål kunne endvidere være interessant på helt andre områder som biomasseressourcer og affaldsressourcer. For disse 2 sidste områder er der dog tale om virkelige detaljer i forhold til ADAM, og der må formodes kun at være marginale effekter i ADAM på ændringer i disse ressourcer.



### 3.3.5 Raffinaderierhvervet

Produktionsprocessen på raffinaderierne (*fxng*) kunne også være et emne for en bottom-up beskrivelse, idet sektoren er meget let at overskue og teknikken rimelig at specificere. Sektoren er dog kun af mindre betydning i relation til CO<sub>2</sub> emission specielt, idet der ikke vil være nogen specielle ændringer af emissionen ved omlægninger af input fra dansk til importeret råolie. Emissionen af CO<sub>2</sub> vil meget langt være direkte afhængig af produktionens størrelse.

## 3.4 Hvad er koblet sammen i projektet og hvorfor er andre dele ikke medtaget

I Hybris er det valgt at koble en bottom-up beskrivelse af forsyningssystemet og privatforbruget af brændsel sammen med ADAM. Sammenkoblingen er foretaget som et forsøg, der skal illustrere de fordele og problemer en integration af de to forskellige synspunkter indebærer.

Der er ved sammenkoblingen åbnet mulighed for at analysere samspillet mellem de to analyseudgangspunkter og de konsekvenser, der er på resultatet af analyser omhandlende energiforbrug, emissioner og reduktionsmuligheder.

### *Forsyningsmodul*

Forsyningsmodulet er detaljeret beskrevet i kap. 4, hvor der også i detaljer er redegjort for sammenkoblingen med ADAM. Som skitseret i er den væsentligste forbindelse fra forsyningsmodulet til ADAM bestemmelsen af en pris på sektorens produktion. Denne prisbestemmelse har effekter i ADAM på erhvervenes energiforbrug og på forbrugerpriserne, der igen indvirker på løndannelsen og herigennem konkurrenceevnen. Forsyningsprisen indvirker på efterspørgselsbestemmelsen i ADAM, der føres tilbage til forsyningsmodulet opsplittet på el-, gas- og varmeefterspørgsel.

Brændselsforbruget fordelt på kul, olieprodukter, naturgas og biomasse føres via justeringer i input-koefficienter over i ADAM, således at effekter på samlet energiforbrug, betalingsbalance mv. kan opgøres.

Endelig opgøres forsyningssektorens investeringer ud fra udbygningsplaner og den fra ADAM bestemte efterspørgsel, hvorefter investeringerne fordelt på bygninger og anlæg justeres i ADAM. Bestemmelsen i ADAM af efterspørgsel for el påvirker udbygningen af elkapacitet, der igen er en væsentlig faktor i prisdannelsen på el.

Gennem efterspørgselsbestemmelsen i ADAM er brændselsomkostninger, udbygningsplaner og prisdannelse på el således et sammenhængende system, der kan belyses i en konsistent ramme.

### *Brændselsforbruget i husholdningerne*

Denne forbrugskomponent indgår i sammenkoblingen med baggrund i det store bruttoenergiforbrug i denne ADAM størrelse og da apparatmodeller for husholdningernes elforbrug er meget typiske bottom-up modeller.

Af fremgår, at der til ADAM forbrugskomponenten er knyttet 2 uafhængige moduler. Et detaljeret apparatmodul bestemmer husholdningernes forbrug af el til belysning og apparater. Fra varmemodulet opgøres energiforbruget til opvarmning fordelt på elvarme, fjernvarme, naturgas, olieprodukter, fast brændsel og biomasse.

De to modulers energiefterspørgsel aggregeres herefter til de ADAM relevante energiinput i brændselsforbrug i husholdninger (*fCe*). Inden aggregering og overførsel til ADAM er energiinputtet omregnet til fastprisdata.

Det totale brændselsforbrug i ADAM og de relevante inputkoefficienter justeres, idet nogle af koefficienterne er eksogene og andre kan ændres via justeringsled.

I ADAM justeres i brændselskomponenten via et justeringsled, som igen indgår i bestemmelsen af alle de øvrige forbrugskomponenter. Justeringsleddet er "endogent" i den forstand at justeringsleddet ikke kun påvirker brændselsforbruget direkte, men via en overordnet sikring af budgetrestriktionen påvirker brændselsforbruget indirekte. En nedjustering af brændselsforbruget via justeringsleddet i brændselsforbrugsrelationen vil således give anledning til en mindre modgående virkning på brændselsforbruget, (en slags indkomsteffekt). Det bliver hermed nødvendigt, ligesom for andre dele af sammenkoblingerne, at iterere et par gange mellem ADAM og den justering, som bottom-up modellen genererer, for at opnå det ønskede niveau for brændselsforbruget.

#### *Hvilke områder er ikke beskrevet ved bottom-up modeller*

Energiforbruget i erhvervene er ikke søgt modelleret ved bottom-up moduler, da den nye modellering i ADAM er ret detaljeret, og der i Det Strategiske Miljøforskningsprogram er udført et omfattende arbejde for at opsplitte erhvervenes energiforbrug på arter. Der vil være et overordentligt stort arbejde forbundet med at opstille bottom-up modeller, der er i stand til at beskrive energiforbruget markant anderledes end den top-down struktur, som nu er til rådighed. Der eksisterer desuden heller ikke på nuværende tidspunkt modeller, som umiddelbart vil kunne anvendes hertil.

Transportområdet er der set helt bort fra med baggrund i manglende modelstrukturer, der umiddelbart ville kunne anvendes som bottom-up modul i sammenhæng med ADAM. Det samme gælder råstof-ressourceområdet, der desuden må karakteriseres som et mindre oplagt bottom-up modelområde i tilknytning til energiforbrug og emissioner.

Raffinaderierhvervet er heller ikke belyst ved bottom-up moduler, da der i forbindelse med CO<sub>2</sub> spørgsmål må antages at eksistere en meget tæt sammenhæng mellem produktion og emission i erhvervet. Produktionsudviklingen vil herudover ikke kunne beskrives bedre ved en bottom-up model fremfor ADAM's beskrivelse.

### **3.5 Hvad indebærer sammenkoblingen for de centrale egenskaber og analysemuligheder**

Der er igennem den nedenfor udførligt beskrevne sammenkobling af top-down og bottom-up beskrivelse af energisystemet opnået en mere komplet beskrivelse af udbuds- og efterspørgselsrelaterede centrale modelområder for energianalyser.

Det er nu muligt at undersøge effekten af prisændringer og specifikke planer for udvidelse af el og varme produktionskapacitet i en og samme model og med de samme grundlæggende antagelser.

For makroøkonomiske analyser, der ikke sigter på at belyse energi- og miljøspørgsmål, er betydningen af det samlede system dog relativt lille, og det omfattende datagrundlag i bottom-up vil nok afholde folk fra at benytte det samlede modelsystem til andet end energianalyser. Der skal meget markante omlægninger af forsyningssystem og specielt energifgifter til, før der er mærkbare effekter på samfundsøkonomien, som ikke allerede indeholdes i ADAM beskrivelsen af energi.

#### *Samfundsøkonomiske effekter af omlægning af forsyningssystemet*

Dette spørgsmål kan i meget højere grad end tidligere belyses i samspillet mellem ADAM og forsyningsmodulet. De samfundsøkonomiske konsekvenser opstår gennem tre kanaler

- prisen på forsyningssektorens produktion

- ændring i brændselsforbrug og sammensætning
- investeringer

Af disse påvirkninger er forsyningssektorens pris ( $px_{ne}$ ), herunder specielt elprisen den væsentligste faktor.

### *Resultaternes betydning for forsyningsssystemet*

Sammenkoblingen af forsyningsmodulet og ADAM indebærer at to forskellige spørgsmål kan belyses.

- hvorledes påvirkes forsyningsystemet af en ændret økonomisk fremskrivning ?
- i hvilket omfang påvirkes forsyningsystemet gennem efterspørgselsændringer for el, varme og gas, der er fremkaldt af omlægninger i forsyningsystemet eller energisystemet i øvrigt, herunder ændringer af energiafgifter ?

Det er med det sammenkoblede system muligt at belyse konsekvenser af ændrede økonomiske forudsætninger for en række forhold i forsyningsystemet. Efterspørgselen efter el og varme er den væsentligste sammenhæng, hvor behovet for udbygning af elproduktionskapacitet bestemmes af efterspørgselsudviklingen

### *Eksempler på vigtige sammenhænge der kommer med i CO<sub>2</sub> og afgiftsovervejelse herunder mindsket fleksibilitet ved mindre udbygning*

For beregninger af energimålsætninger og specielt CO<sub>2</sub> reduktionsmålsætninger er der væsentlig forskel på de omlægninger, der foretages i forsyningsystemet og de meget prisrelaterede effekter, der er fremtrædende i ADAM. I Hybris er det muligt på en gang og konsistent at belyse ændringer/tiltag både i forsyningsystemet og i ADAM (afgifter).

Afgiftspålæggelse influerer på efterspørgselsudviklingen for el og varme, som dermed fører til ændrede krav til forsyningssystemets kapacitet og udbygning. Afgiftspålæggelse kan således føre til en langsommere udvikling i den gennemsnitlige effektivitet-/virkningsgrad i forsyningsystemet end oprindelig forudset, fordi nye effektive værker ikke opføres. Ligeledes vil forsyningsystemet ikke i samme omfang kunne omlægges mod alternative brændsler, og fleksibiliteten mindskes. Til gengæld vil det gennemsnitlige brændselsforbrug have en modgående tendens, idet andelen af f.eks. vindkraft vil veje tungere i den samlede elproduktion. Anvendelse af afgifter lægger restriktioner på mulighederne for fremtidig omlægning mod andre brændsler. Restriktionen består selvfølgelig kun af en udskydning og kunne også overvindes, hvis man var villige til at betale for nye værker, uden at de gamle var teknisk/økonomisk udtjente.

Omlægninger i forsyningsystemet kan vise sig at have større emissionsreducerende effekt end det umiddelbart forudset i forsyningsystemet. Omlægninger, der medfører højere priser, vil få efterspørgselen i ADAM til at falde, både som følge af et adfærdsbetinget fald i husholdningernes og erhvervenes energiefterspørgsel og som følge af en mindsket energiefterspørgsel som et resultat af en lavere dansk produktion.

Der er således med Hybris opstillet et modelsystem, der er istand til at belyse en lang række problemstillinger indenfor energiområdet og energisektorens samspil med makroøkonomien. Arbejdet med den konkrete sammenkobling af BRUS-baserede energimoduler og ADAM har som i dette kapitel beskrevet belyst en lang række metodiske og praktiske problemer forbrundet med sammenkobling af top-down og bottom-up modeller.

I de følgende tre kapitler redegøres nærmere for opbygningen i de tre bottom-up elementer af Hybris, hvorimod konsekvenser af sammenkobling og analysemuligheder med Hybris er illustreret i kapitlerne 7 og 8.

## 4. Forsyningsmodulet

Det dokumenteres her, hvorledes et forsyningsmodul for el-, gas- og varmeproduktion er opbygget og sammenkoblet med ADAM. Forsyningsmodulet blev i kapitel 3 præsenteret som et af de tre bottom-up moduler koblet sammen med ADAM. Forsyningsmodulet er det mest omfattende af de tre bottom-up moduler og repræsenterer væsentlig flere links til ADAM end de øvrige to moduler. Da dette kapitel tjener som fuldstændig dokumentation for forsyningsmodulet, er gennemgangen meget detaljeret og indeholder både teoretiske afsnit, som bygger på detaljeret kendskab til kraftvarmesektoren, og afsnit som er knyttet tæt til konkrete relationer i ADAM modellen.

Beskrivelsen af forsyningsmodulet i dette kapitel består af tre dele:

- En gennemgang af forsyningsmodulets opbygning og variable (4.1-4.8)
- En hovedsagelig teoretisk gennemgang af minimering af brændselsomkostningerne på de centrale kraftvarmeværker (4.5)
- Gennemgang af links til ADAM og konstruktion af linkvariable (4.9)

Til dette kapitel hører endvidere variabellisten i bilaget.

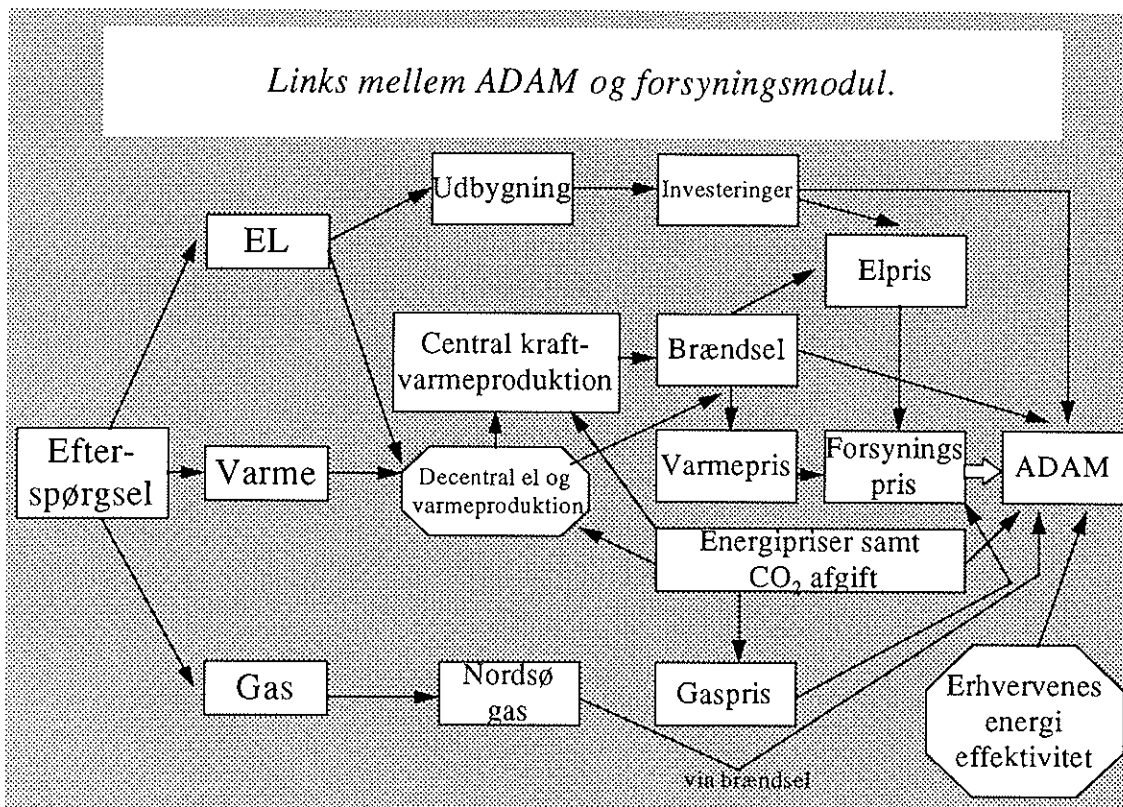
Forsyningsmodulet er udformet som en bottom-up beskrivelse af forsynings erhvervene. Dette sker gennem en beskrivelse af de eksisterende tekniske anlæg og en udbygningsplan, som indeholder et valg af teknologier og dermed forbundne brændselsinput for den nødvendige udbygning.

Brændselsinputtet vil gennem en omkostningsminimering for de centrale værker blive bestemt via brændselspriserne. Dette sker gennem en anvendelse af de værker, der har lavest driftsomkostninger. På det enkelte værk er der mulighed for brændselssubstitution inden for værkspecifikke grænser. Øvrige produktionsfaciliteter har brændselsforbrug udelukkende ud fra faste tekniske koefficienter. Der er således mulighed for delvis brændselssubstitution ved el og varmeproduktion.

Prisbestemmelsen i forsyningssystemet er den dominerende påvirkning af ADAM fra forsyningssystemet. Prisdannelsen foregår på basis af gældende lovgivning vedrørende elprisen, medens der for varmeprisen bygges på brændselsomkostninger og et fast omkostningsselement.

Som beskrevet i kapitel 3 har den nye marts 95 version af ADAM med indførelse af prisfølsomheden for energiefterspørgselen i virksomhederne øget betydningen af prisændringer i forsyningssystemet og sammenkoblingen af forsyningsmodulet og ADAM via prisdannelsen er hermed blevet mere interessant end i tidligere ADAM versioner.

Forbindelsen mellem forsyningsmodulet og ADAM er skitseret nedenfor, idet el-, gas- og varmeefterspørgselen er det væsentligste ADAM input til forsyningsmodulet. Samtidig er kun de overordnede sammenhænge gengivet.



Figur 4.1 Sammenhæng mellem forsyningsmodul og ADAM.

## 4.1 Input fra ADAM til forsyningsmodul

Fra ADAM leveres en række inddata til forsyningsmodul. I første række beregnes i et PCIM modul (PCIM er software til simulering med ADAM modellen) efterspørgsel for de tre forsyningsprodukter el, gas og fjernvarme. Efterspørgslen omregnes til energi og indgår herefter i forsyningsmodul. Andre variable overføres til forsyningsmodul til brug for mellemregninger, deflatering mv.

### 4.1.1 El-, gas- og varmeefterspørgsel

De enkelte forsyningserhvervs fastpriser efterspørgsel  $fx_{nel}$ ,  $fx_{nev}$  og  $fx_{neg}$  opgøres i PCIM modulet, så summen af erhvervene altid svarer til det samlede forsyningserhverv. Forsyningserhvervets samlede produktion  $fx_{ne}$  bestemmes således fortsat i ADAM. Dette modificeres kun for så vidt gælder leverancen fra gasforsyningserhvervet til fjernvarme, samt el til fjernvarme og gasforsyningssektorerne. Der er dermed behov for modificering af både  $an_{ene}$  (totale egenkoefficient) og for koefficienterne  $an_{egne}$  og  $an_{elne}$ , der benyttes til beregning af gas- og elefterspørgslen. Nærmere omkring disse koefficienters beregning nedenfor under "Output til ADAM".

Et PCIM modul LINKEFTM beregner efterspørgslen for de tre komponenter fra ADAM baseret på inputkoefficienter i erhvervene og husholdningerne i 1990. Disse koefficienter er fremskrevet, så summen svarer til hele forsyningserhvervets koefficient i perioden 1991 til 1993. LINKEFTM sikrer endvidere, at summen af koefficienterne for de tre erhverv svarer til forsyningssektorens samlede koefficient. Dette er bl.a. nødvendigt for at sikre, at en overordnet forbedring af energieffektiviteten i ADAM erhvervene via  $dt_{fve}$ -variable også medfører lavere efterspørgsel efter de enkelte forsyningsarter.

Alle koefficienter for input af forsyningsvarer fremskrives som ovenfor skitseret uden ændringer af det relative forhold mellem forsyningsvarerne på nær de tre koefficienter nævnt ovenfor. Det er intentionen, at SMP modellerne for erhvervenes energiefterspørgsel kan kobles sammen med ADAM, bl.a. ved at ændre de øvrige koefficienter.

#### 4.1.2 Øvrige inputvariable

Efterspørgsel efter energivarer er de væsentligste inputs, men en del variable er endvidere nødvendige til beregning af linkvariable til ADAM. Her indgår bl.a. forsyningsproduktionen *fxne*, priseme på importerede brændsler *pm3r*, *pm3k* og *pm3q*, forbrugerprisen totalt og for brændsel *pcp* og *pce*, nettoforbrugerpris brændsel *pnce* og prisen på investeringsgoder *pi*. Endvidere overføres produktion i forsyningssektoren *fxne*, raffinaderier *fxng* og udvindingssektoren *fxe*.

Til afgiftsberegninger og tilbageførsel af afgiftsprovenuier overføres skattesatsen *tsds* og provenuet *sds*. CO<sub>2</sub> emissioner beregnes fra ADAM bl.a. med baggrund i *fm3k*, *fm3q*, *fe3* og *ange3*.

En yderligere efterspørgselsvariabel overføres til brug for opstilling af udbygningsbehovet for elkapacitet. Denne variabel beregnes ligeledes i det før omtalte PCIM modul baseret på de samme koefficienter, men tillagt import af el med 1990 koefficienter for alle erhverv og husholdninger. Importkoefficienterne reduceres ligesom de 3 forsyningsarters koefficienter med en evt. effektivitetsforbedring i erhvervene. Herefter reduceres med eleksporten, således at der opnås et udtryk for den indenlandske elefterspørgsel *bjeldk* (elforbrug).

Endelig overføres en række mere informative variable til illustration af de makroøkonomiske konsekvenser af ændringer i forsyningssystemet eller ADAM eksperimenter foretaget fra forsyningsmodulet. i alt overføres p.t. 38 ADAM variable til forsyningssystemet.

## 4.2 Kapacitetsberegningerne i elsystemet/udbygninger

Kapaciteten i elsystemet udbygges på baggrund af efterspørgselsudviklingen for el. Det overordnede princip er, at udbygningen planlægges, således at den faktiske kapacitet altid er større eller svarer til den ønskede kapacitet. Således antages elefterspørgselen i praksis kendt 6 år frem.

Udbygningen foretages som en eksogen fremskrivning af den sekundære elkapacitet, hvorefter den centrale kapacitet automatisk udbygges indtil den ønskede kapacitet nås. Således antages også udbygningsplanerne for sekundære anlæg kendt 6 år frem.

Inputvariabelen *bjeldk* fra ADAM opfattes som den indenlandske elefterspørgsel og er den dimensionerende inputvariabel i elsystemet. Dimensioneringen foretages for det samlede elsystem under et og ud fra et krav om 20% reservekapacitet i spidslastsituationer. Reservekravet opgøres ud fra en maksimal elbelastning, bestemt ud fra en antagelse om en uændret form af varighedskurven over årene.

Elsystemet opdeles i en række produktionskategorier. Først opdeles på primær og sekundær kapacitet. Den primære kapacitet udgøres af de elværksejede centrale værker opsplittet på gamle og nye værker. Sekundær kapacitet opdeles i følgende kategorier:

- Elværksejet.
  - Vindkraft
  - Decentral kraftvarme
  - Andet, herunder vandkraft

- Ikke elværksejet.
  - Vindkraft
  - Decentral kraftvarme
  - Industriel kraftvarme
  - Andet, herunder minikraftvarme

Denne opdeling er baseret på opdelingen i elværksstatistikken og et ønske om at kunne fremskrive kapaciteten i de nævnte kategorier særskilt.

Den centrale produktionskapacitet er baseret på datagrundlaget til udbygningsplanerne fra ELSAM og ELKRAFT. For den eksisterende kapacitet haves herfra en dødscurve repræsenterende den del af kapaciteten i et historisk år, som endnu ikke er udtaget i et givet fremtidigt år. Denne restkapacitet anvendes som grundlag for beregning af udbygningsbehov.

Udbygningsbehovet opgøres fra efterspørgselssiden ved en skalering af den indenlandske elefterspørgsel til en maksimal elbelastning svarende til omregning ved anvendelse af et fast antal produktionstimer pr. år. Forholdet fra et historisk år (1992) anvendes. Den nødvendige kapacitet tillægges herefter et reservekrav f.eks. 20%. Eksisterende kapacitet udgøres af dødskurven for centrale værker og den sekundære kapacitet inkl. kapacitetsværdien af vindkraften.

Udbygningsbehovet opgøres som forskellen mellem den ønskede kapacitet og total eksisterende kapacitet inkl. allerede foretagne udbygning siden basisåret.

Der ses i udbygningsberegningerne endvidere helt bort fra varmebindingen på både de decentrale kraftvarmeværker og de centrale kraftvarmeværker. Varmelagring antages at kunne finde sted så maksimal elkapacitet på kraftvarmeværker er til stede i forbindelse med den dimensionerende spids i elefterspørgsel.

Reservekravet skal være opretholdt i alle årene, så udbygningen foretages, således at den nødvendige kapacitet er til rådighed primo året. Udbygningerne placeres hermed i året før de skal være til rådighed. Centrale kraftværker har en byggetid på 5 år, hvorfor udbygningen indledes 5 år før.

#### 4.2.1 Fremskrivning af eksogene elementer af elkapaciteten

De 7 sekundære elproduktionskategorier nævnt ovenfor fremskrives alle eksogent. Produktionskapaciteten fremskrives efter lidt forskellige principper og generelt er der ikke taget højde for udfasning/skrotning af kapacitet.

Alle de eksogene efterspørgselskomponenter indgår i bestemmelsen af den nødvendige centrale udbygning via kapaciteten i de enkelte kategorier. Dette modificeres dog for vind, hvor der opereres med en kapacitetsværdi af vindkraften.

##### *Vindkraft*

Vind behandles eksogent i form af fremskrivning af nettoudbygningen af kapacitet år for år. Der antages, at fremskrivningen foretages som nettoudbygning under hensyntagen til en skrotning af tidligere opført vindkapacitet. Fremskrivningen foretages særskilt for elværksejet og ikke elværksejet kapacitet og de 2 kategorier har forskellige "benyttelsestider". Der er ikke specificeret tekniske koefficienter for den enkelte årgang.

Kapacitetsværdien af vind indgår som en parameter mellem 0 og 1 f.eks. 0.25, således at kapaciteten kun indgår med vægten 25% i den totale sekundære elkapacitet. Kapacitetsværdien for vind bør justeres afhængig af vindkraftens andel af elforsyningen.

Alternativt kan der i stedet foretages en specifik justering af varighedskurven efter vindkraftproduktionen og en dimensionering af det centrale system ud fra den



resulterende top i varighedskurven. Dette burde i så fald gøres for både vindkraft og decentral kraftvarme. Dette omfattende beregningsapparat er ikke indbygget i den foreliggende modelform.

### *Decentral kraftvarme*

Decentral kraftvarme fremskrives eksogent for både den elværksejede og ikke elværksejede kapacitet. Der fremskrives med nettoudbygning for året målt som MW og med årgangsspecifikke teknologidata. Der foretages heller ikke her nogen aldersbetinget skrotning. Datagrundlaget er elværksstatistikken fra Danske elværkers forening (DEF) med fremskrivninger i de nærmest følgende år baseret på elselskabernes planer. De årgangsspecifikke data for ikke elværksejede anlæg relaterer sig til summen af decentral kraftvarme, industrielt ejede og andet. De årgangsspecifikke data for elværksejede værker indeholder ikke andet end decentral kraftvarme.

### *Anden produktionskapacitet*

Elværksejet kapacitet antages hovedsageligt at være vandkraft, og der sker ikke umiddelbart nogen udbygning af denne kategori. Kategorien tæller fuldt med i den totale sekundære kapacitet, men udgør kun en marginal produktionskapacitet.

Den ikke elværksejede industrielle elkapacitet fremskrives som decentral kraftvarme, idet der for elproduktion sker en samlet behandling af decentral kraftvarme, industrielle anlæg og andet. Gruppen andet indeholder bl.a. minikraftvarmeanlæg og bliver i beregningerne behandlet som sådant. Denne gruppe er i grundfremskrivningerne også marginal og der sker heller ikke her nogen udbygning.

## **4.2.2 Beregninger af centralt udbygningsbehov og konkret udbygning**

Den indenlandske efterspørgsel *bjeldk* bestemmer kapacitetsbehovet med baggrund i en antagelse om et konstant forhold mellem energiefterspørgsel og maksimal elbelastning. Efterspørgselsvariablen *bjeldk* beregnet i PCIM-eftermodulet **LINKEFTM** omregnes fra efterspørgsel målt i TJ til en maksimal belastning med udgangspunkt i sammenhængen fra 1992 fra elværksstatistikken.

Den maksimale belastning tillægges herefter et reservekrav, hvilket herefter udgør den ønskede kapacitet for det samlede elsystem.

$$K^{\emptyset} = K^S + K^0 + K^{Ny} \quad (4.1)$$

Den ønskede kapacitet skal være til stede og udgøres i udbygningsberegningen af 3 komponenter.  $K^S$  er den totale sekundære elkapacitet,  $K^0$  er den oprindelige centrale kapacitet reduceret med de værker, der er udtaget indtil beregningsåret, og  $K^{Ny}$  er den akkumulerede centrale udbygning siden basisåret. Det er kun denne kategori som automatisk udbygges ved efterspørgselsstigninger.  $K^0$  benævnes ofte i de følgende afsnit "dødskurven". Dødskurven konstrueres på baggrund af data for alle de eksisterende centrale værker og de allerede planlagte og besluttede anlæg, som er indlagt i den samlede oversigt over værker. Dødskurven behandles som en eksogen serie indlagt med udgangspunkt i elkapaciteten i et valgt udgangsår.

Udbygningen bestemmes herefter som den udbygning, der er nødvendig for at have den ønskede kapacitet til rådighed primo næste år, givet den udbygning af sekundær kapacitet, som finder sted. Den konkrete centrale udbygning antages at finde sted i form af blokanlæg med en størrelse, som fastsættes eksogent. Der er således ikke tale om en kontinuert udbygning, hvilket dog kun delvis afspejler sig i investeringstallene jvf. afsnittet om fordeling af investeringsaktivitet. Der vil typisk blive arbejdet med

blokstørrelser mellem 100 og 400 MW. Denne blokudbygning kan via prisdannelsen på el og derigennem *pxne* føre til, at der ikke opnås nogen løsning i iterationen mellem forsyningsmodul og ADAM, idet en udbygning fører til en prisstigning, der via et efterspørgselsfald medfører, at udbygningen ikke længere er nødvendig.

Der tages ikke i selve udbygningsberegningen stilling til, hvilken type anlæg herunder brændselsvalg, der udbygges med. Disse antagelser knyttes i stedet sammen med brændselsberegningerne. Teknologien for de nye værker er specificeret for 5 forskellige typer, hvoraf der i modellens nuværende form på forhold vælges en udbygningsteknologi for hvert af de værker, der kan udbygges med. Umiddelbart er det muligt at udbygge med op til 75 nye værker. Teknologiens elvirkningsgrad,  $C_v$ ,  $C_m$  mv. antages at følge et udviklingsforløb, således at de nye værker får tekniske koefficienter afhængigt af det år de indsættes.

Udbygningsberegningen foretages for den gældende fremskrivningsperiode 1994-2022 samt de følgende 5 år, idet dette er nødvendigt af hensyn til investerings- og afskrivningsberegningerne, der indgår i prisdannelsen på el.

### 4.3 Investeringer

Der arbejdes med investeringer for alle de tre forsyningserhverv. Elforsyningen har dog langt den mest detaljerede og integrerede beskrivelse. For de to andre forsyningserhverv er der udelukkende en eksogen opdatering af investeringer i et antal kategorier.

Elforsyningens investeringer knyttes sammen med kapacitet, udbygning og produktion og indeholder endvidere en tidsmæssig fordeling af de store investeringer i blokanlæg.

I forsyningssektorens samlede investeringer vejer elsektoren dog ikke så meget. Bygge- og anlægsinvesteringerne er absolut større end maskininvesteringerne i sektoren og dermed er "bygningkvoten" meget større end for det gennemsnitlige ADAM-erhverv. De samlede bygningsinvesteringer kan således blive mærkbart påvirket af forskellige udbygningsplaner for både elsystemer og varmemforsyningsanlæg.

De samlede investeringer for 2 kategorier elforsyning, varmemforsyning og gasforsyning fordeles på bygnings- og maskininvesteringer. Bygningsinvesteringerne og maskininvesteringerne i løbende priser deflateres herefter med den samlede investeringspris  $p_i$  fra ADAM.

#### 4.3.1 Investeringer i central elproduktionskapacitet

Investeringer i central elkapacitet knyttes direkte til den beregnede udbygningsplan. Der tages udgangspunkt i udbygningen målt i MW, og der knyttes en samlet investeringspris (pr. MW kapacitet) til kapacitetsudbygningen. Prisen målt i mill. kr. pr. MW elkapacitet er eksogen. I et særskilt modul beregnes nutidsværdier af de totale omkostninger ved forskellige centrale elproduktionsteknologier inkl. teknologispecifikke investeringsomkostninger. Disse beregninger indgår ikke i modellens valg af udbygningsteknologi, som er eksogent bestemt. Investeringsomkostningerne er således ikke gjort direkte afhængige af produktionsteknologien. Teknologierne vælges ikke automatisk, idet der ønskes mulighed for eksplicit at vælge en teknologi ud fra andre hensyn end en minimering af nutidsværdien af produktionsomkostningerne.

Investeringerne i løbende priser opgøres på baggrund af den således fremkomne anlægssum, der fordeles over en byggeperiode, som antages identisk uanset værksstørrelse og teknologi i øvrigt. Byggeperioden strækker sig over 5 år og investeringen i det enkelte år opgøres som en fordeling af anlægssummene. Anlægssummen henføres til det år, hvor udbygningen afsluttes. Første driftsår er det følgende år.

$$I_t = 0.3 A_t + 0.34 A_{t+1} + 0.22 A_{t+2} + 0.09 A_{t+3} + 0.05 A_{t+4} \quad (4.2)$$

Investeringen  $I_t$  i et givet år opgøres således på baggrund anlægssummen  $A$  for den udbygning som færdiggøres samme år og de nærmest følgende fire år.

Den benyttede fordeling af investeringerne i central kapacitet baseres på oplysninger fra ELSAM og ELKRAFT for deres udbygning af centrale anlæg i perioden 1976-90 jvf. afsnittet om afskrivninger og henlæggelser under elprisafsnittet.

De samlede investeringer i centrale værker splittes herefter op i en maskindiel og en bygningsdel. Disse andele gælder for hele perioden og antages eksogene, idet de bør afstemmes med den valgte udbygningsteknologi.

#### 4.3.2 Investeringer i vind, decentral kraftvarme, elfordelingsanlæg m.v.

Alle de øvrige investeringskomponenter inden for elforsyning opgøres på mere eksogen vis. Den sekundære kapacitetsudbygning foregår som fremskrivning af syv kategorier, der i investeringsberegningerne lægges sammen til to kategorier: vindkraft og decentral kraftvarme inkl. andet dvs. de resterende fem grupper. Herudover fremskrives investeringer indenfor kategoriene elfordelingsanlæg, miljøinvesteringer og investeringer i øvrigt.

Vindkraftudbygning er fremskrevet eksogent for begge ejerkategorier. Den samlede udbygning foregår til en eksogen fremskrevet pris for vindinvesteringer, idet der her beregnes en anlægssum placeret i udbygningsåret.

For decentral kraftvarme bestående af fem kategorier antages ligeledes at gælde en investeringspris pr. MW el. Anlægssummen placeres i udbygningsåret og investeringen året før. Decentral kraftvarme udgør hovedparten af denne investeringskategori. Samtidig er det muligt at en del af investeringen bør henføres til varmeproduktion. Dette er muliggjort ved at inddrage en andel af anlægssummen, som skal henføres til elforsyning.

Elfordelingsanlæggenes kapacitet hænger sammen med både produktionssystemets sammensætning og forbrugsmønsteret. Endvidere er udlandsforbindelserne og deres udvidelse af betydning for de samlede investeringer inden for elfordelingsanlæg. Det er dog meget vanskeligt at kvantificere disse sammenhænge. Derfor fremskrives anlægssummen for fordelingsanlæg eksogent.

Anlægssummen indenfor miljøinvesteringer er ret store på de centrale værker, men er fuldstændig afhængige af konkrete beslutninger og fremskrives derfor også eksogent.

Endelig indgår en gruppe øvrige investeringer som bl.a. kan være havneanlæg, transportmidler som kulpramme osv. Disse fremskrives ligeledes eksogent, men udgør en noget mindre del af investeringerne end de øvrige komponenter.

Den samlede anlægssum inden for de fem kategorier skitseret ovenfor placeres tidsmæssigt i udbygningsåret for elkapaciteten, der samtidig er ibrugtagningsåret. Investeringer placeres et år før ibrugtagningsåret under antagelse af et års byggetid for vind og decentral kraftvarme og at investeringerne for de tre helt eksogene kategorier gennemsnitligt foretages med en byggetid på et år.

Summen af investeringerne fordeles ligesom for centrale anlæg på en maskin- og en bygningsdel. Disse andele er også her eksogene og konstante over tid.

#### 4.3.3 Investeringer i varmeproduktion på fjernvarmeværker og decentral kraftvarme m.v.

Der fremskrives investeringer i varmeproduktionssektoren eksogent og med en eksogen fordeling på bygnings- og maskininvesteringer. Investeringerne foretages for hele

sektoren, og der er ikke nogen investeringsgenerering for investering i fjernvarmeværker og decentral kraftvarme. Samtlige investeringer i centrale kraftvarmeanlæg er henført til elsektoren. Der kan foretages en opdeling, så en del af investeringerne i decentral kraftvarme henføres til varmeproduktion. For at generere investeringsdata for fjernvarmeværkerne automatisk, kræves der en udvidelse af beregningerne for varmekapacitet med en udbygning af fjernvarmeværkerne. Beregningerne for produktion og brændsel foregår under antagelse om en tilstrækkelig fjernvarmekapacitet til at tilfredsstille den del af varneefterspørgslen, som skal leveres fra fjernvarmeværker. Der antages således ikke at finde investeringer sted i deciderede fjernvarmeværker.

Der er ikke indlagt en automatisk tidsmæssig fordeling af anlægsinvesteringer inden for varmenettet, så investeringerne må fordeles inden de indlægges i modellen. Investeringerne indgår også her i løbende priser og fordeles på bygninger og maskiner.

#### **4.3.4 Investeringer indenfor gasforsyning**

Der består et afgrænsningsproblem mellem sektoren gas fra Nordsøen og gasforsyningssektoren. Investeringer i naturgashovedledningen henføres til Nordsøerhvervet og øvrige investeringer til gasforsyningssektoren. En eksogen indlæggelse af investeringer i naturgasforsyningserhvervet bør således foretages under hensyntagen til det som er indeholdt i udvindingserhvervets investeringer i en ADAM fremskrivning.

Eksogent indlagte investeringer indenfor gasforsyning fordeles med eksogent specificerede andele på bygninger og maskiner.

### **4.4 El og varmeproduktion**

Efterspørgsel antages givet fra ADAM for både el og varme. Der er ingen bindinger inlemm el- og varneefterspørgselen, men der er bindinger mellem el- og varmeproduktion for både de decentrale kraftvarmeanlæg og for de centrale anlæg.

Den nødvendige produktion fremkommer ved at lade de sekundære anlæg producere maksimalt ud fra given kapacitet og fremskrivning af tekniske koefficienter herunder benyttelsestider. For varme splittes produktionen mellem kraftvarme og decideret fjernvarmeproduktion.

#### **4.4.1 Elproduktion**

Den samlede efterspørgsel for dansk elproduktion (opgjort i TJ) leveres fra sekundære og primære værker. Der er afgørende forskelle mellem produktionsbeskrivelsen af de 2 kategorier. De sekundære værker fremskrives for alle de tekniske størrelser herunder benyttelsestimer, som direkte bestemmer produktionen for den enkelte sekundære kategori, hvorimod de centrale værker leverer den resterende del af den nødvendige produktion baseret på en indirekte omkostningsminimering af det centrale systems produktionsomkostninger.

##### *Sekundære elproduktionsanlæg.*

De forskellige produktionskategorier er gennemgået i afsnit 4.2.1 om kapaciteterne. Elproduktionen fra de sekundære anlæg er uafhængig af efterspørgselen, idet deres andel af den samlede elproduktion antages at være af et moderat omfang i forhold til leverancen fra de centrale kraftvarmeanlæg.

De elværksejede samt de ikke elværksejede vindmøller producerer i modellen på basis af deres elkapacitet samt en fremskrivning af benyttelsestider fra basisårets implicitte fuld last benyttelsestider. Modellen tager ikke højde for eloverløb i form af elproduktion fra

vindkraft og decentral kraftvarme produceret på tidspunkter med mindre efterspørgsel end produktion.

Den største del af de sekundære anlægs elproduktion kommer fra decentrale kraftvarmeanlæg. Produktionen opgøres også her på baggrund af benyttelsestider og elkapacitet. Benyttelsestiderne for decentral kraftvarme varierer historisk lige så meget mellem ejerkategorierne som for vindkraften, men en del af variationen mellem ejerkategorierne skyldes, at kapaciteten i ikke elværksejede værker er udbygget kraftigt i løbet af 1994, og benyttelsestiderne er beregnet på baggrund af ultimo kapacitet og produktion for hele året. Benyttelsestiden for de ikke elværksejede værker bliver derfor for lav i 1994. I fremskrivninger bør der tages stilling til dette problem. Benyttelsestiderne er historisk i gennemsnit noget højere end for vind.

Industrielt ejede anlæg antages at producere el til systemet, samt anden kraft til egetforbrug. Deres elproduktion opgøres analogt med de øvrige sekundære anlæg.

Herudover findes en "andet" kategori for begge ejertyper, hvor produktionen antages udelukkende at være el. For elværksejede behandles gruppen som vandkraft uden brændselsforbrug. De ikke elværksejede andre anlæg behandles som decentral kraftvarme mht. brændselsberegninger, idet kategorien behandles særskilt for at give mulighed for at medtage minikraftvarme i en særskilt gruppe. Historisk er denne kategori af ubetydelig størrelse.

### *Central elproduktion*

Elproduktionen fra de sekundære anlæg aggregeres og reducerer den samlede efterspørgsel, hvorefter det centrale kraftvarmesystem leverer den resterende efterspørgsel.

Den indenlandske efterspørgsel *bjeldk* reduceres med elproduktionen fra de syv eksogene sekundære produktionskategorier. Herefter antages den reducerede efterspørgsel at fordele sig tidsmæssigt som varighedskurven for den samlede efterspørgsel. Der ligger heri en antagelse om, at produktionen fra de eksogene kategorier er tidsmæssigt fordelt som efterspørgselens varighedskurve, således at spids-efterspørgselen bliver reduceret med den sekundære produktions andel af den indenlandske efterspørgsel.

Da benyttelsestiderne for sekundær produktion er lavere end gennemsnittet af den centrale kapacitet, kan der opstå situationer hvor et reservekrav for den samlede elkapacitet ikke giver en tilstrækkelig central elproduktion på spidslastdelen af varighedskurven, idet de decentrale anlægs spidslastproduktion undervurderes. Dette problem vil i praksis kun optræde ved relativt store andele af sekundær elproduktion.

Den centrale elproduktion bestemmes sammen med central varmeproduktion i et modul baseret på omkostningsminimering for den samlede el og varmeproduktion givet de reducerede efterspørgsler beregnet som ovenfor skitseret. Hele dette modul er dokumenteret nedenfor i 4.5.

Produktionen i det centrale kraftvarmesystem kan dog også bestemmes i en helt simpel beregning baseret på gennemsnitsantagelser og uden hensyntagen til varighedskurvens udseende. Denne beregning anvendes til sammenligning af kørsler samt til at skyde iterationen med ADAM ind på niveauet for brændselsforbrug, idet iterationsproceduren til opnåelse af omkostningsminimering i det centrale system er ret tidskrævende.

Forskellen mellem de to beregningsmetoder er ret lille ved uændrede prisforudsætninger, men det er kun beregningen med omkostningsminimering, som giver mulighed for brændselssubstitution ved ændrede relative brændselspriser. Der vil i en sådan kørsel med ændrede brændselspriser ofte være meget stor forskel på brændselsforbruget mellem de to beregningsmetoder.

Der foretages i den simple beregningsmetode en opdeling af de centrale værker på eksisterende kapacitet og nye værker. Disse værker adskiller sig med hensyn til tekniske koefficienter, men behandles derudover ens. Elproduktionen fordeles mellem eksisterende og ny kapacitet i forhold til kapacitetens andel, hvorved produktionen fra nye anlæg må formodes at blive undervurderet.

Den eksisterende kapacitet har tekniske koefficienter baseret på basisårets totaltal, med fire teknologier forstået som de fire brændselskategorier kul, olie, gas og biomasse. Den samlede kapacitet opgøres med andele for hver af de fire brændsler. Virkningsgrader mv. opgøres fra DEF tiårsoversigten, og der antages umiddelbart at gælde samme virkningsgrad for de fire grupper. Der er dog mulighed for at karakterisere de fire brændselsteknologier med hver deres virkningsgrad og  $C_v$  værdi. Så vidt muligt er antagelser afstemt med de værkspecifikke antagelser i varighedskurveberegningerne i 4.5. Som udgangspunkt fremskrives tekniske koefficienter uændret uden hensyntagen til, at gennemsnitlige størrelser ændres efterhånden som bestanden af gamle værker uddør. Der kan alternativt indlægges effektivitetsforbedringer baseret på årgangsstørrelser opgjort med basis i værksspecifikke data. Elproduktionen opgøres som en andel af den reducerede elefterspørgsel uden hensyntagen til antallet af driftstimer. Kapacitetsberegningerne har sikret at den nødvendige kapacitet er til rådighed.

Ny kapacitet opgøres på de samme kategorier og bestandens tekniske koefficienter fordeling på brændsel, virkningsgrad og  $C_v$  værdi fremskrives. Bestanden eller kapaciteten opgøres i kapacitetsberegningerne beskrevet ovenfor, men teknologien vælges eksplicit her. Elproduktion er givet ud fra de nye værkers andel af central kapacitet. Det er specielt for de nye værker, at antagelserne om udbygningsteknologi får betydning i forhold til en kørsel med udbygning under hensyntagen til varighedskurve.

#### **4.4.2 Varmeproduktion fordelt mellem produktionskategorier**

Den samlede varmeefterspørgsel genereres fra ADAM og opsplittes på leverancer fra kraftvarmeværker og leverancer fra deciderede fjernvarmeværker. Opsplitningen foretages med baggrund i en fremskrivning af kraftvarmeandelen uden hensyntagen til udviklingen i kapaciteten for de respektive produktionsformer. Beskrivelsen af fjernvarmeproduktion og kapacitet er ganske simpel, hvorimod kraftvarmeproduktionen beskrives mere detaljeret og baseret på flere kategorier af decentral kraftvarme samt alle de centrale kraftvarmeværker.

##### *Fjernvarme*

Den del af varmeefterspørgselen, der ikke dækkes af kraftvarme leveres fra fjernvarmeværker karakteriseret ved de samme fire brændsler som for de decentrale kraftvarmeværker. Værktipe er identisk med brændselsvalg, og der skelnes ikke mellem nye og gamle anlæg. Hermed er brændselsandelene udtryk for typefordelingen for den samlede bestand af fjernvarmeværkerne.

##### *Decentral kraftvarme*

Denne produktionskategori leverer varme baseret på et antal benyttelsestimer, bestemt ud fra elproduktion og kapacitet i basisåret, samt  $C_m$  værdier. Kategorien består af en elværksejet gruppe og en gruppe ejet af øvrige. For hver gruppe anvendes de fire standardbrændsler, og den samlede kapacitet har teknologidata og brændselsfordeling opgjort på baggrund af årgangsspecifikke data. Således antages alle decentrale kraftvarmeværker inden for hver ejergruppe at have samme antal benyttelsestimer uafhængigt af alder og teknologi.

## Central kraftvarme

Behovet for varmereproduktion i det centrale kraftvarmesystem opgøres efter reduktion af den samlede efterspørgsel med produktionen på deciderede fjernvarmeværker og produktionen på decentrale kraftvarmeværker. Det således opgjorte produktionsbehov indgår i den fælles omkostningsminimering for el- og varmereproduktion på de centrale værker. Der tages ikke højde for varighedsfordelingen af varmeefterspørgselen.

I den simple version uden varighedskurve for efterspørgsel beregnes varmereproduktion fra eksisterende og nye værker med en fordeling svarende til elkapacitetens andel i lighed med elproduktionens fordeling. Alle værker antages at være kraftvarmeværker og produktionen fordeles ligeligt mellem de fire brændselsteknologier. Forskellen til den omkostningsminimerende beregning med varighedskurve i 4.5 er for varmereproduktionen ret udtalt, da der uden hensyntagen til geografiske og tidsafhængige bindinger er en betydelig overkapacitet af central kraftvarme, og det derfor er enkelte værker i varighedskurveberegningerne, som producerer hovedparten af varmen. Kun minimums-bindinger på de enkelte værker kan mindske denne forskel.

## 4.5 El og kraftvarmereproduktion fra de centrale værker baseret på varighedskurve

Under en række forsimplende antagelser bestemmer denne del af modellen el- og varmereproduktionen for de specificerede værker ved at minimere systemets samlede brændselsomkostninger, givet at det samlede system skal producere de efterspurgte mængder af el og varme. Idet værkernes produktionsmulighedsområder er bestemt ved lineære restriktioner, kan det samlede problem karakteriseres som et lineært optimeringsproblem.

Det duale problem til det lineære omkostningsminimeringsproblem består i en maksimering af dækningsbidraget. Dette problem løses ved at *decentralisere* modellen: der antages på ethvert tidspunkt at eksistere *skyggepriser* på el og varme. Det enkelte værk vælger en produktionsstrategi der på ethvert tidspunkt maksimerer dækningsbidraget målt ved skyggepriserne og brændselspriserne. Givet dette reaktionsmønster fra værkernes side, vælges skyggepriserne således, at de overordnede mængderestriktioner overholdes (det skal understreges at skyggepriserne er optimeringsparametre og ikke umiddelbart kan fortolkes som virkelige priser på el og varme).

Modellens overordnede mængderestriktioner er givet ved en tidsafhængig efterspørgsel efter el (varighedskurve) og en samlet varmeefterspørgsel. I modellens nuværende form antages det, at året består af 365 ens døgn. I det enkelte døgn beskrives efterspørgselsvariation ved en *varighedskurve*  $P_D(t)$ . Idet el ikke kan lagres skal produktionen af el på et hvert tidspunkt være lig efterspørgslen:

$$P(t) = P_D(t), \quad t \in [0, \bar{t}], \quad (4.3)$$

hvor  $P(t)$  er systemets samlede eleffekt (målt i MW) til tid  $t$ , og  $\bar{t}$  er længden af et døgn (24 timer). Den producerede varme antages at kunne lagres op til et døgn, således at produktionen i et givet døgn blot skal planlægges, således at døgnets samlede produktion er lig den samlede efterspørgsel - dvs.:

$$\int_0^{\bar{t}} Q(t) dt = H, \quad (4.4)$$

hvor  $Q(t)$  er systemets samlede varmeproducerende effekt på tidspunkt  $t$  (målt i MJ/s) og  $H$  er døgnerts samlede varmeefterspørgsel (målt i MWh).

Da det for el gælder at produktionen skal være lig efterspørgslen på et hvert tidspunkt, vil skyggeprisen på el  $p_e(t)$  variere over døgnet. For varmeproduktionen er mængderestriktionen defineret for det samlede døgn, således at der for et givent døgn findes en skyggepris  $p_h$  for varme.

Der antages at findes tre værkstyper: *modtryksværker*, *kondensværker* og *udtagsværker*. I det følgende vil disse værkstypers optimale adfærd givet skyggepriserne blive analyseret.

#### 4.5.1 Kondensværk

Et kondensværk producerer udelukkende el. Dækningsbidraget målt i skyggepriser  $\Pi(t)$  på tidspunkt  $t$  er derfor givet ved:

$$\Pi(t) = p_e(t)P(t) - \frac{p_F}{\eta}P(t), \quad (4.5)$$

$$u.b \quad 0 \leq P(t) \leq P_{\max}$$

hvor  $P(t)$  er kondensværkets effekt på tidspunkt  $t$ ,  $\eta$  er virkningsgraden og  $p_F$  er brændselsprisen. Vælges effekten således at dækningsbidraget maksimeres, gælder det at:

$$P(t) = \begin{cases} 0 & \text{for } p_e(t) < MC_k \\ [0, P_{\max}] & \text{for } p_e(t) = MC_k \\ P_{\max} & \text{for } p_e(t) > MC_k \end{cases} \quad (4.6)$$

hvor  $P_{\max}$  er værkets maksimale varige ydeevne, og:

$$MC_k = \frac{p_F}{\eta} \quad (4.7)$$

Størrelsen  $MC_k = p_F / \eta$  er kondensværkets marginalomkostning ved at producere en ekstra enhed el. Det ses, at de værker, der har marginalomkostninger under skyggeværdien på el, producerer på fuld kraft, og at de værker, der har marginalomkostninger under skyggeprisen, lukkes ned. Det værk, hvis marginalomkostning netop er lig skyggeprisen kan producere en hvilken som helst mængde, og vil om alle omstændigheder have et dækningsbidrag på nul. Dette værk kaldes *marginalværket*.

#### 4.5.2 Modtryksværk

Et modtryksanlæg producerer el og varme i et fast forhold. Værkets adfærd kan udledes af problemet:

$$\begin{aligned} \text{Max } \Pi(t) &= p_e(t)P(t) + p_h Q(t) - \frac{p_F}{\eta}(P(t) + Q(t)) \\ \text{s.t. } (i) \quad &Q(t) \leq Q_{\max}, \\ (ii) \quad &P(t) = c_m Q(t), \end{aligned}$$



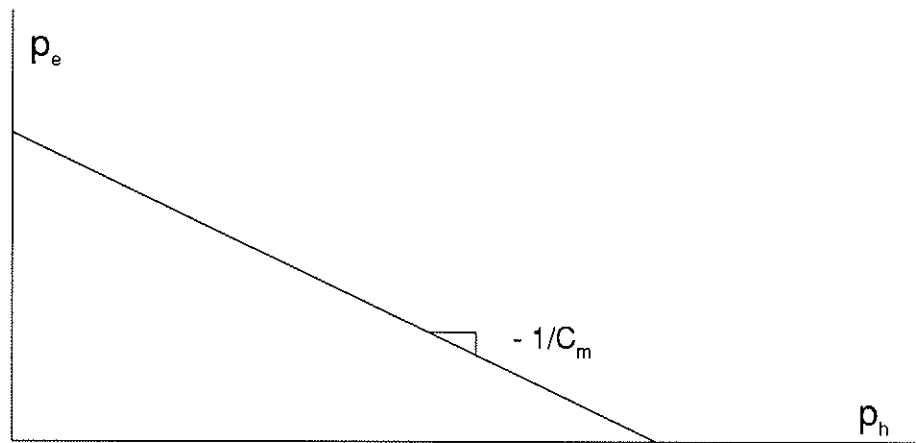
hvor  $\eta$  er totalvirkningsgraden,  $Q_{\max}$  er den maksimale varmeproduktion per tidsenhed og  $c_m$  angiver det faste forhold mellem el- og varmeproduktion. Løses dette problem indsættes det at:

$$Q(t) = \begin{cases} 0 & \text{for } p_e(t) < MC_m \\ [0, Q_{\max}] & \text{for } p_e(t) = MC_m \\ Q_{\max} & \text{for } p_e(t) > MC_m \end{cases} \quad (4.8)$$

$$P(t) = c_m Q(t),$$

hvor,

$$MC_m = -\frac{p_h}{c_m} + \frac{p_F}{\eta} \frac{c_m + 1}{c_m}. \quad (4.9)$$



**Figur 4.2. Skyggepriser på el og varme.**

$MC_m$  er modtryksværkets marginalomkostning ved at producere en enhed el. Værkets produktionsstrategi afhænger af skyggepriserne på både el og varme. Betragtes Figur 4.2 gælder det, at produktionen af el og varme vil være positiv hvis  $(p_e, p_h)$  ligger over den skrå linie, mens produktionerne vil være nul hvis  $(p_e, p_h)$  ligger under den skrå linie.

#### 4.5.3 Udtagsværk

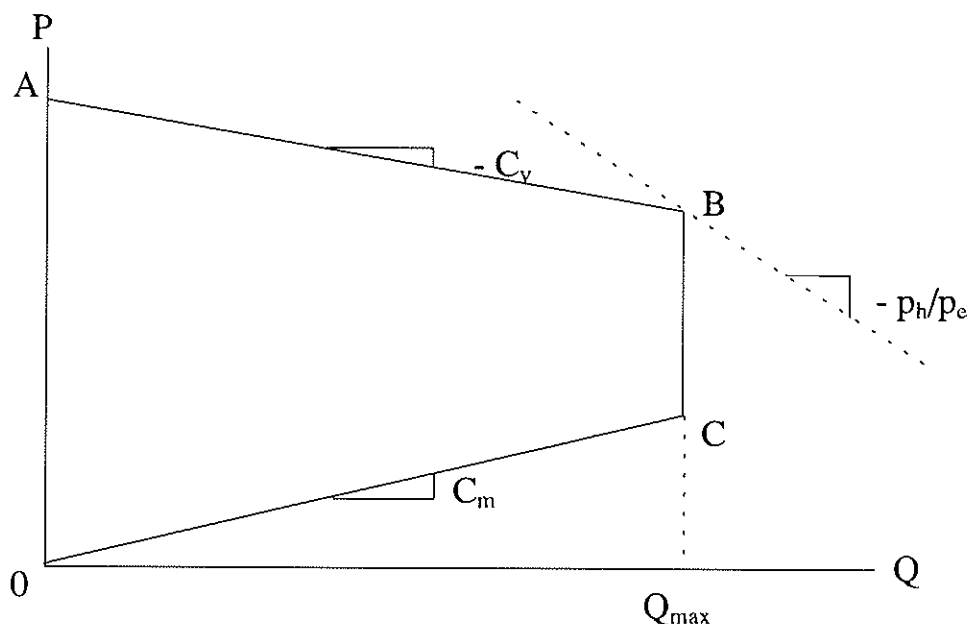
Et udtagsværk kan producere el og varme indenfor produktionsmulighedsområdet skitseret i Figur 4.3. (området 0ABC). El- og varmeproduktionen vælges således at flg. problem løses:

$$\begin{aligned} \text{Max } \Pi(t) &= p_e(t)P(t) + p_h Q(t) - \frac{p_F}{\eta}(P(t) + c_v Q(t)) \\ \text{s.t. } (i) \quad &P(t) + c_v Q(t) \leq \eta F_{\max}, \\ (ii) \quad &Q(t) \leq Q_{\max}, \\ (iii) \quad &P(t) \geq c_m Q(t). \end{aligned}$$

I et udtagsværk er brændselsforbruget ( $F$ ) givet ved:

$$F = \frac{1}{\eta}(P + c_v Q). \quad (4.10)$$

Dette indebærer at brændselsforbruget er konstant langs enhver linie i  $(Q,P)$ -planet med hældning  $-c_v$ .



**Figur 4.3. Produktionsmulighedsområde for udtagsværk.**

Et udtagsværks omkostninger kan skrives som:

$$\Pi(t) = (p_e(t) - \frac{p_F}{\eta})P(t) + (p_h - c_v \frac{p_F}{\eta})Q(t). \quad (4.11)$$

Det gælder derfor oplagt at:

$$p_e(t) < \frac{p_F}{\eta} \text{ og } p_h < c_v \frac{p_F}{\eta} \Rightarrow (P(t), Q(t)) = (0,0) \quad (4.12)$$

og

$$p_e(t) > \frac{p_F}{\eta} \text{ og } p_h < c_v \frac{p_F}{\eta} \Rightarrow (P(t), Q(t)) = (\eta F_{\max}, 0) \quad (4.13)$$

Hvis  $p_e(t) > p_F/\eta$  og  $p_h > c_v p_F/\eta$  vil det være optimalt at ligge på den højeste  $c_v$ -linie (AB i Figur 4.3). Beliggenheden på denne linie afhænger af den relative skyggepris  $p_h/p_e$ :

Antag  $p_e(t) > \frac{p_F}{\eta}$  og  $p_h < c_v \frac{p_F}{\eta}$ . Det gælder da at:

$$Q(t) = \begin{cases} 0 & \text{for } \frac{p_h}{p_e(t)} < c_v \\ [0, Q_{\max}] & \text{for } \frac{p_h}{p_e(t)} = c_v \\ Q_{\max} & \text{for } \frac{p_h}{p_e(t)} > c_v \end{cases} \quad (4.14)$$

$$P(t) = -c_v Q(t) + \eta F_{\max}$$

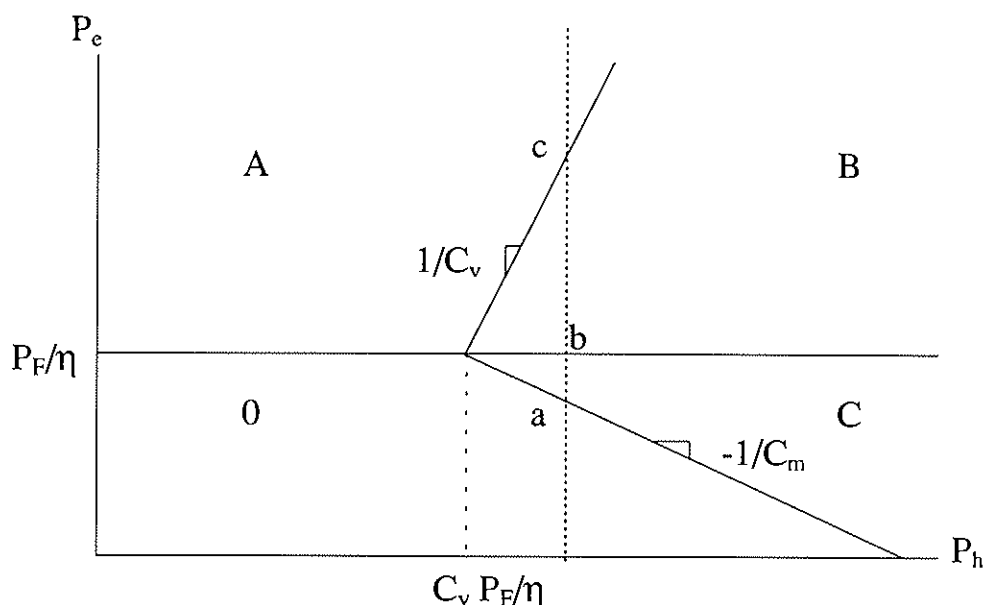
Hvis  $p_e(t) < p_F/\eta$  og  $p_h > c_v p_F/\eta$  er det optimalt at ligge på  $c_m$ -linien (liniestykket OC i Figur 4.3.). Beliggenheden på denne linie afhænger af skyggepriserne:

Antag at  $p_e(t) < \frac{p_F}{\eta}$  og  $p_h > c_v \frac{p_F}{\eta}$ . Det gælder da at:

$$Q(t) = \begin{cases} 0 & \text{for } p_e(t) < MC_{um} \\ [0, Q_{\max}] & \text{for } p_e(t) = MC_{um} \\ Q_{\max} & \text{for } p_e(t) > MC_{um} \end{cases} \quad (4.15)$$

$$P(t) = c_m Q(t),$$

$$MC_{um} = -\frac{p_h}{c_m} + \frac{p_F}{\eta} \frac{c_m + c_v}{c_m}$$



Figur 4.4. Produktionsregimer for udtagsværk.

Sammenhængen mellem skyggepriser og produktion er skitseret i Figur 4.4. Arealerne i denne figur korresponderer med punkterne i Figur 4.3. - f.eks. ville skyggepris-kombinationer beliggende indenfor arealet A i Figur 4.4. føre til punktet A i Figur 4.3.

Som det ses har et udtagsværk en noget mere kompleks produktionsadfærd end tilfældet er for kondens- og modtryksværker. Problemstillingen kan med fordel brydes ned ved at fortolke et udtagsværk som summen af tre værker: et modtryksværk, et kondensværk og et *medtryksværk* (defineret nedenfor). Hvis skyggeprisen på varme er mindre end  $c_v p_F/\eta$  opfører udtagsværket sig som et kondensværk: ved for lav skyggepris på el produceres ikke el og ved for høj skyggepris på el produceres udelukkende el (punktet A i Figur 4.3.). Hvis skyggeprisen på varme er højere end  $c_v p_F/\eta$  opstår kompleksiteten: antag at skyggeprisen på varme er givet (f.eks. ved den lodrette stiplede linie i Figur 4.4). Hvis skyggeprisen på el ligger under punktet a i figuren produceres der ikke. Hvis skyggeprisen på el ligger mellem punkterne a og b produceres i punktet C i Figur 4.3. Dette er den typiske situation for et modtryksværk. Hvis skyggeprisen på el ligger mellem punkterne b og c produceres i punktet B i Figur 4.3. El- og varmeproduktionen i dette punkt kan fortolkes som summen af produktionerne fra modtryksværket defineret ved punktet C i Figur 4.3 og et kondensværk med en maksimal effekt givet ved afstanden mellem punkterne C og B i Figur 4.3:

$$P_{\max} = \eta F_{\max} - (c_v + c_m) Q_{\max} \quad (4.16)$$

Endelig har vi situationen hvor skyggeprisen ligger over punktet c i Figur 4.4. Dette svarer til at produktionen af el og varme ligger i punktet A i Figur 4.3. Dette punkts produktioner kan fortolkes som summen af produktionerne fra kondensværket og modtryksværket nævnt ovenfor, samt produktionerne fra et *medtryksværk*. Et medtryksværk er en abstrakt produktionsenhed, der producerer el med varme som eneste brændsel. Virkningsgraden antages at være givet ved  $c_v$  og det maksimale input af varme

antages at være  $Q_{\max}$ . Medtryksværkets væsentligste funktion er at omdanne modtryksværkets varme til el, således at vi bevæger os fra punktet B til C i Figur 4.3.

Ved at tildele de tre værkstyper marginale omkostninger svarende til punkterne a, b og c i Figur 4.4 fås en korrekt samlet produktionsreaktion på ændringer i skyggeprisen på el givet skyggeprisen på varme.

Vi kan konkludere:

*Definition:* Lad et udtagsværk være defineret ved parametrene  $(\eta, p_F, F_{\max}, Q_{\max}, c_v, c_m)$  og lad  $p_e(t)$  og  $p_h$  være skyggepriserne på h.h.v. el og varme.

Det til udtagsværket hørende *modtryksværks* produktion  $(P^{um}(t), Q^{um}(t))$  er beliggende i produktionsmulighedsområdet:

$$\begin{aligned} Q^{um}(t) &\leq Q_{\max}, \\ P^{um}(t) &= c_m Q^{um}(t), \end{aligned}$$

og tildeles marginalomkostningen:

$$MC_{um} = -\frac{p_h}{c_m} + \frac{p_F}{\eta} \frac{c_m + c_v}{c_m}.$$

Det til udtagsværket hørende *kondensværks* produktion  $(P^{uk}(t), Q^{uk}(t))$  er beliggende i produktionsmulighedsområdet:

$$\begin{aligned} P^{uk}(t) &\leq \eta F_{\max} - (c_v + c_m) Q_{\max} \\ Q^{uk}(t) &= 0 \end{aligned}$$

og tildeles marginalomkostningen:

$$MC_{uk} = \frac{p_F}{\eta}$$

Det til udtagsværket hørende *medtryksværks* produktion  $(P^{ue}(t), Q^{ue}(t))$  er beliggende i produktionsmulighedsområdet:

$$\begin{aligned} 0 &\geq Q^{ue}(t) \geq -Q_{\max} \\ P^{ue}(t) &= -c_v Q^{ue}(t). \end{aligned}$$

og tildeles marginalomkostningen:

$$MC_{ue} = \frac{p_h}{c_v}$$

#### 4.5.4 Optimum

Optimum findes ved en iterativ proces, der igen består af to niveauer. I det nederste niveau beregnes værkernes el- og varmeproduktion, givet at elefterspørgslen skal

tilfredsstilles på ethvert tidspunkt og givet at skyggeprisen på varme antager en given værdi. I det øverste niveau tilpasses skyggeprisen på varme således, at den samlede varmeefterspørgsel bliver tilfredsstillet. Vi starter med at beskrive det nederste niveau.

### *Merit order-metoden i et system med givet varmeskyggepris.*

For given skyggeværdi på varme er det på ethvert tidspunkt muligt at beregne den optimale skyggepris på el ved at tilpasse denne indtil det samlede udbud af el svarer til efterspørgslen. Dette er imidlertid en tidskrævende metode, da den indebærer en iterativ beregning, og da denne skal udføres på ethvert tidspunkt (dvs. principielt uendeligt mange gange). Gøres en række centrale antagelser angående værkernes rådighed over tid, kan problemet simplificeres betydeligt, idet værkernes produktion kan beregnes direkte uden en egentlig beregning af skyggepriserne på el.

Vi vil i det følgende antage, at det enkelte værk er til rådighed alle døgnets 24 timer, året rundt. Dette er en grov antagelse af to grunde: for det første fordi værkerne af og til skal lukkes ned på grund af almindelig vedligeholdelse, og for det andet fordi der altid vil være en reel risiko for havari. For at kompensere for dette vægtes det enkelte værks el- og varmeproducerende kapacitet med en *rådighedsfaktor*. Antag f.eks. at et udtagsværk har en maksimal eleffekt på 100 MW, en maksimal varmeeffekt på 100 MJ/s og en rådighedsfaktor på 0.8. Dette værk er kun til rådighed 80% af årets timer, men det antages at de 20% "manglende rådighed" er spredt ligeligt ud over året. Denne antagelse betragtes som en rimelig approximation. Værket vil således indgå i beregningerne med en maksimal eleffekt på 80 MW og en maksimal varmeeffekt på 80 MJ/s..

Værkerne sorteres efter deres marginale omkostninger (givet skyggeprisen på varme), hvorefter værker med højere og højere marginale omkostninger startes, indtil efterspørgslen er tilfredsstillet. Mere præcist: antag der er  $n_k$  kondensværker,  $n_m$  modtryksværker og  $n_u$  udtagsværker. Det  $j$ 'te kondensværk er karakteriseret ved vektoren  $v_k^j = (\eta^j, p_F^j, P_{\max}^j, r^j)$ , det  $i$ 'te modtryksværk er karakteriseret ved vektoren  $v_m^i = (\eta^i, p_F^i, Q_{\max}^i, c_m^i, r^i)$  og det  $s$ 'te udtagsværk er karakteriseret ved vektoren  $v_u^s = (\eta^s, p_F^s, Q_{\max}^s, F_{\max}^s, c_v^s, c_m^s, r^s)$ . Antag skyggeprisen på varme har en given værdi  $p_h$ . Kondensværkerne indgår i beregningerne med en maksimal eleffekt på  $r^j P_{\max}^j$  og modtryksværkerne indgår med den maksimale eleffekt  $r^i c_m^i Q_{\max}^i$ . Udtagsværkerne opsplittes som beskrevet i sidste afsnit: Det til udtagsværket  $v_u^s$  hørende kondensværk defineres ved

$$v_{uk}^s = \begin{cases} (\eta^s, p_F^s, \eta^s F_{\max}^s, r^s) & \text{for } p_h \leq c_v^s \frac{p_F^s}{\eta^s} \\ (\eta^s, p_F^s, \eta^s F_{\max}^s - (c_v^s + c_m^s) Q_{\max}^s, r^s) & \text{for } p_h > c_v^s \frac{p_F^s}{\eta^s} \end{cases} \quad (4.17)$$

Det til udtagsværket  $v_u^s$  hørende modtryksværk defineres ved:

$$v_{um}^s = \begin{cases} (\eta^s, p_F^s, 0, c_m^s, r^s) & \text{for } p_h \leq c_v^s \frac{p_F^s}{\eta^s} \\ (\eta^s, p_F^s, Q_{\max}^s, c_m^s, r^s) & \text{for } p_h > c_v^s \frac{p_F^s}{\eta^s} \end{cases} \quad (4.18)$$

Endelig defineres det til udtagsværket  $v_u^s$  hørende medtryksværk ved:

$$v_{ue}^s = \begin{cases} (c_v^s, 0, r^s) & \text{for } p_h \leq c_v^s \frac{p_F^s}{\eta^s} \\ (c_v^s, -Q_{\max}^s, r^s) & \text{for } p_h > c_v^s \frac{p_F^s}{\eta^s} \end{cases} \quad (4.19)$$

hvor det første element i vektoren angiver virkningsgraden, det andet angiver den maksimale varmeproduktion (negativ - dvs. varme indgår som input) og det sidste element angiver rådighedsfaktoren. For det opsplittede udtagsværk gælder det at hvis  $p_h \leq c_v^s p_F^s / \eta^s$  da indgår kondensværket med en maksimal eleffekt  $r^s \eta^s F_{\max}^s$ , mens modtryksværket og medtryksværket indgår med maksimale eleffekter på 0. Hvis  $p_h > c_v^s p_F^s / \eta^s$  indgår kondensværket med den maksimale eleffekt  $r^s (\eta^s F_{\max}^s - (c_v^s + c_m^s) Q_{\max}^s)$ , modtryksværket indgår med den maksimale eleffekt  $r^s c_m^s Q_{\max}^s$  og medtryksværket indgår med den maksimale eleffekt  $r^s c_v^s Q_{\max}^s$ .

Vi har nu  $n = n_k + n_m + 3n_u$  værker der alle har en veldefineret maksimal eleffekt og marginalomkostning. Værkerne sorteres efter deres marginalomkostninger. Lad  $(\tilde{P}_{\max}^j, MC_j)$  karakterisere det  $j$ 'te værk efter sorteringen ( $\tilde{P}_{\max}^j$  angiver det specifikke værks maksimale eleffekt inkl. rådighedsfaktoren som denne er angivet ovenfor). Sorteringen indebærer at:

$$MC_j \geq MC_{j-1} \quad , \quad j=2, \dots, n. \quad (4.20)$$

Værkerne skal nu "lægges ind i varighedskurven". Varighedskurven  $P_D(t)$  beskriver døgnvariationen i elefterspørgslen. Tidsaksen er sorteret således at  $P_D$  bliver en aftagende funktion af tiden:

$$\frac{d}{dt} P_D(t) \leq 0. \quad (4.21)$$

Dette indebærer at  $t = 0$  er spidslasttidspunktet og at  $t = \bar{t}$  er det tidspunkt hvor elefterspørgslen er mindst. Definer funktionen:

$$\varphi(P) = P_D^{-1}(P)P + \int_{P_D^{-1}(P)}^{\bar{t}} P_D(t) dt \quad (4.22)$$

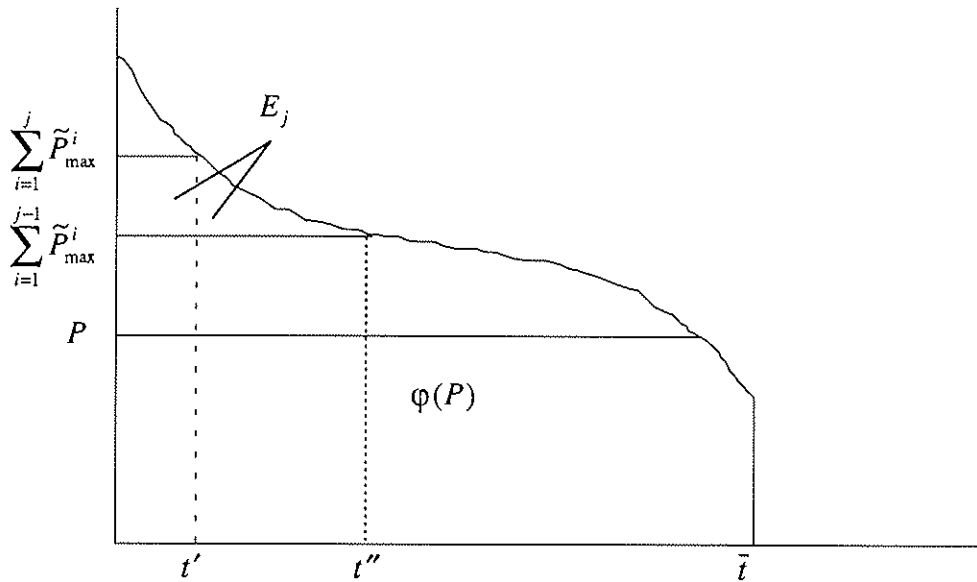
Denne funktion angiver arealet under en vandret linie hvor effekten er lig  $P$  (se Figur 4.5). Vi definerer nu det  $j$ 'te værks elproduktion ved:

$$E_j = \varphi\left(\sum_{i=1}^j \tilde{P}_{\max}^i\right) - \varphi\left(\sum_{i=1}^{j-1} \tilde{P}_{\max}^i\right). \quad (4.23)$$

I Figur 4.5 er baggrunden for (4.23) skitseret. Det  $j$ 'te værks elproduktion er lig arealet  $E_j$ . Dette indebærer at det  $j$ 'te værk producerer el med maksimal effekt i tidsintervallet 0 til  $t'$ . I intervallet  $t'$  til  $t''$  produceres med mindre og mindre effekt. Endelig bliver der

slet ikke produceret i det  $j$ 'te værk i intervallet  $t''$  til  $\bar{t}$ . Det  $j$ 'te værk har tilsyneladende relativt høje marginale omkostninger og producerer derfor kun i spidslastperioden. Det  $j$ 'te værk er i.flg. figuren *marginalværk* i tidsintervallet  $t'$  til  $t''$ : det er i dette tidsinterval netop dette værk der tilpasser sig til efterspørgslen. Dette indebærer at  $p_e(t) = MC_j$  i dette tidsinterval, eller mere generelt:

$$p_e(t) = MC_j \quad \text{for } t \in \left[ P_D^{-1} \left( \sum_{i=1}^j \tilde{P}_{\max}^i \right), P_D^{-1} \left( \sum_{i=1}^{j-1} \tilde{P}_{\max}^i \right) \right] \quad (4.24)$$



Figur 4.5 Varighedskurve.

Værkernes varmeproduktioner  $H_j$  beregnes alt efter værkets type. Hvis værket er et kondensværk gælder det at  $H_j = 0$ . Hvis værket er et modtryksanlæg, gælder det at:

$$H_j = c_m^j E_j. \quad (4.25)$$

Hvis værket er et medtryksværk, gælder det at:

$$H_j = -c_v^j E_j. \quad (4.26)$$

*Bestemmelse af skyggeprisen på varme.*

Ovenfor blev el- og varmeproduktionen bestemt for given skyggepris på varme. De enkelte værkers varmeproduktioner er derfor en funktion af skyggeprisen på varme:

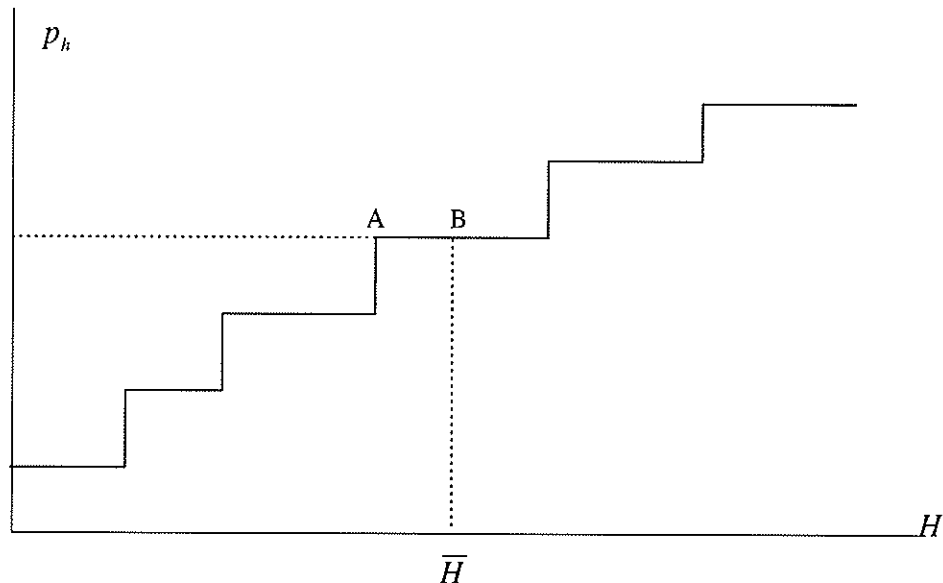
$$H(p_h) = \sum_{j=1}^n H_j(p_h). \quad (4.27)$$



Skyggeprisen på varme bestemmes som løsning til ligningen:

$$H(p_h) = \bar{H}, \quad (4.28)$$

hvor  $\bar{H}$  er den samlede efterspørgsel efter varme.



Figur 4.6 Udbudskurve for varme.

I Figur 4.6 ses sammenhængen mellem skyggeprisen på varme og den samlede produktion af varme. Jo højere skyggeprisen er, jo flere værker producerer. Der fås en trappekurve. Indlægges en efterspørgsel  $\bar{H}$  (den lodrette stiplede linie) ses det, hvorledes skyggeprisen bestemmes som marginalværkets marginalomkostning (markeret ved den vandrette stiplede linie). Marginalværkets produktion er givet ved afstanden A-B.

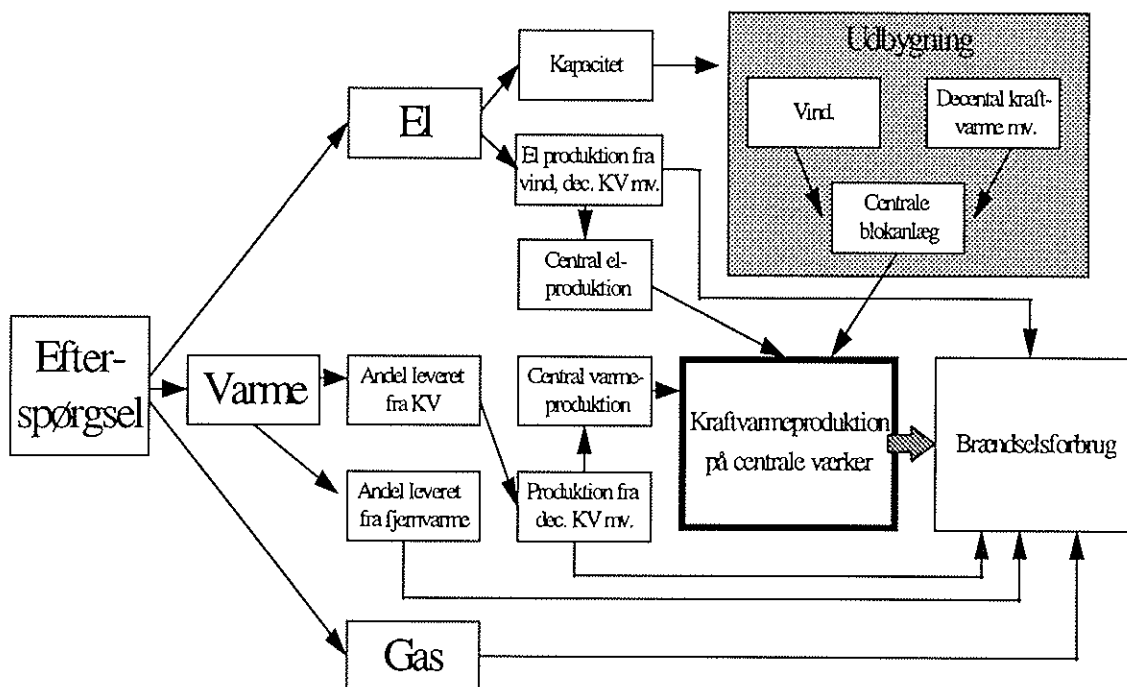
## 4.6 Brændselsforbrug

Brændselsforbruget opgøres som summen af brændselsforbruget på de centrale værker, forbruget på sekundære værker og forbruget på fjernvarmeværker. Fordelingen mellem brændselsforbrug til el og varme på kraftvarmeværker foretages primært under hensyntagen til alternative elproduktionsmuligheder og elvirkningsgraden ved ren elproduktion. Det samlede brændselsforbrug fordeles på et antal brændselstyper efter andele eller baseret på data for det enkelte værk. Der opereres med 4 brændselstyper: kul, gas, olie og biomasse.

I princippet foretages opgørelsen af brændselsforbruget til el og varme ved at den samlede efterspørgsel fordeles på de forskellige kategorier og derefter konverteres til bruttoenergiforbrug med brændselsspecifikke elvirkningsgrader henholdsvis totalvirkningsgrader. Dette forbrug er opdelt på brændsler og konverteres herefter til fastpriser efterspørgsel til input i ADAM på basis af de relevante brændselspriser i 1980 (kr. pr. GJ).

Opgørelsen af brændselsforbruget i energienheder benyttes både i et direkte samspil med ADAM via fastprisefterspørgslerne, men indgår endvidere i omkostningsopgørelsen for el og varmeproduktion og påvirker herigennem outputprisen på el, varme og den sammenvejede pris for forsyningssektoren  $px_{ne}$ . Endvidere indgår brændslerne fordelt på typer i beregningen af forsyningssektorens og den samlede økonomis emissionsopgørelse.

Nedenfor er forbindelsen fra el-, gas- og varmeefterspørgsel til brændselsforbruget i forsyningssektoren skitseret.



Figur 4.7 Forsyningsmodulets brændselsbestemmelse.

#### 4.6.1 Brændselsforbrug på centrale elværker

Brændselsforbruget på centrale værker beregnes efter 2 forskellige principper afhængig af hvilken kørselsafvikling, som vælges. Det er kun brændselsforbruget på de centrale værker, som beregnes efter forskellige principper afhængig af kørselsafvikling.

Varighedskurveberegningerne belyst i 4.5 foretager en konkret beregning af brændselsforbruget fordelt på brændsler for hvert enkelt værk baseret på el og varmeproduktionen. De værkspecifikke data for elvirkningsgrad,  $C_v$ -værdi mv. anvendes alle i beregningerne af den optimale produktionsfordeling mellem værkerne. Det samlede brændselsforbrug fordeles mellem el- og varmeproduktion med baggrund i  $C_v$ -værdien for udtagsværkernes modtryksdel og med baggrund i en alternativ elvirkningsgrad på de

deciderede modtryksværker. Denne virkningsgrad anvendes kun på en meget lille del af varmeproduktionen og opdateres særskilt i varighedskurvemodulet.

I den simple kørselsafvikling beregnes brændselsforbruget på basis af en gennemsnitlig elvirkningsgrad for den gamle eksisterende kapacitet og en anden elvirkningsgrad for ny kapacitet. Alle værker indenfor gamle og nye værker har samme antal driftstimer, elvirkningsgrad, Cv-værdi og fordeling på brændsler, således at brændselsforbruget ligesom el- og varmeproduktionen kan beregnes for den samlede gruppe af værker.

Bruttoenergiforbruget til elproduktionen opgøres i begge afviklingstyper uden hensyntagen til størrelsen af kraftvarmeproduktionen. Samtidig kan det samlede bruttoenergiforbrug til kraftvarmeproduktionen opgøres med basis i antagelsen om konstant brændselsforbrug langs Cv-linien og opgørelsen af el og varmeproduktionen. Hele kraftvarmefordelen i det centrale produktionssystem er hermed tillagt varmesiden.

#### **4.6.2 Fordeling af brændselsforbrug mellem el og varme i forbindelse med kraftvarmeproduktion**

Der er generelt et fordelingsproblem mht. brændselsforbruget på kraftvarmeverker. Brændselsforbruget fremkommer på baggrund af en forenet produktion af el og varme, og der er ikke nogen entydig måde at henføre brændselsforbruget til det ene eller andet produkt.

Der skal derfor vælges et fordelingsprincip for både de centrale kraftvarmeverker, som for de decentrale og industrielt ejede anlæg. Der forekommer flere oplagte alternativer

- a) Det samlede brændselsforbrug fordeles proportionalt med produktionen målt i kWh
- b) Brændselsforbruget fordeles med varme som marginalprodukt og på udtagsværker med baggrund i Cv-værdi og for modtryksværker med en alternativ elvirkningsgrad.
- c) Brændselsforbruget fordeles med el som marginalprodukt og på basis af alternativ varmevirkningsgrad i fjernvarmeanlæg.

Der eksisterer i dag mere eller mindre formelle aftaler og praksis omkring fordelingen af brændselsudgiften. Princippet varierer mellem de centrale anlæg og de decentrale anlæg, og der er for de centrale anlægs vedkommende også tale om tidsbegrænsede regelsæt. Oftest favoriseres varmeproduktionens omkostninger ved at vælge fordelingsprincip b), men for de decentrale kraftvarmeanlæg trækkes fordelingsprincippet mere i retning af a).

I HYBRIS vælges at fordele jævnt b) på de centrale anlæg og i følge a) på de decentrale anlæg ud fra totalvirkningsgraden.

#### **4.6.3 Brændselsforbrug på decentrale værker m.v.**

Ud af de sekundære værker er det brændselsforbruget på decentrale kraftvarmeverker og industrielle værker, der beskrives og et fordelingsprincip mellem el og varme vælges. Vindkraft samt gruppen elværksejet anden kapacitet har forsvindende lille brændselsforbrug. Decentrale elværker behandles ens mht. fordeling af brændselsforbruget på el og varme uanset ejergruppe. For de decentrale kraftvarmeanlæg vælges fordelingsprincip a) jævnt ovenfor.

Decentrale kraftvarmeverker er karakteriseret med årgangsspecifikke data, men da der antages at være et identisk antal driftstimer for alle årgangene beregnes og benyttes data for den samlede årgang til beregning af brændselsforbrug. Elproduktionen er givet fra elkapacitet og antal driftstimer ligesom varmeproduktionen er givet fra elproduktion og gennemsnitlig  $C_m$  værdi for bestanden. Elproduktionens brændselsforbrug beregnes som

$$QE_i^j = \frac{E_i^j}{\eta_i^j} \quad (4.29)$$

hvor  $\eta^j$  er totalvirkningsgraden for den brændselsspecifikke kategori og  $E^j$  er elproduktionen produceret med brændsel  $j$ . Det tilsvarende brændselsforbrug til varmeproduktion beregnes som

$$QH_i^j = \frac{\left( \frac{E_i^j}{Cm_i^j} \right)}{\eta_i^j} \quad (4.30)$$

hvor  $Cm^j$  er den brændselstekniske  $Cm$ -værdi (fast forhold mellem el- og varmeproduktion).

$Cm$  og  $\eta$  værdierne er for de elværksejede værker beregnet som et gennemsnit for de decentrale kraftvarmeværker, da hverken vindkraft eller andet gruppen antages at have et brændselsforbrug.

For ikke elværksejede sekundære værker beregnes de tilsvarende gennemsnitlige størrelser for  $\eta$  på baggrund af summen af decentrale kraftvarmeværker, industrielle anlæg og andet. Disse 3 grupper behandles aggregeret mht. brændselsforbrug til el og forbruget beregnes på baggrund af en totalvirkningsgrad som i ligning (4.29). Industrielle anlæg samt andet gruppen antages dog ikke at producere varme, idet mindste ikke til varmenettet, og derfor benyttes for beregningen af brændselsforbruget til varme en gennemsnitlig  $Cm$  værdi for bestanden af decentrale kraftvarmeværker alene. Brændselsforbruget til varme beregnes for decentrale kraftvarmeværker som i (4.30), idet dog  $\eta$  værdien er den gennemsnitlige for summen af de 3 grupper anvendt til beregning af brændselsforbruget til elproduktion.

Brændselsforbrugets udvikling er i fremskrivninger primært afhængigt af udviklingen i totalvirkningsgraden og udbygningstakten for den enkelte kategori. Fordelingen af brændsler på type bestemmes af fremskrivningen af udbygning samt årgangenens fordeling på brændsler. Der er ikke levnet de sekundære værker mulighed for brændselssubstitution, idet teknologivalg kun foretages en gang på byggetidspunktet.

I fremskrivninger vil udbygning og brændselsvalg på de sekundære værker være de centrale politiske/planlægningsmæssige parametre. Således er modellens resultater for emission i høj grad afhængig af brændselsvalg for de nye årgange, hvor der f.eks. kan fremskrives med en udbygning udelukkende baseret på biomasse.

#### 4.6.4 Brændselsforbrug på fjernvarmeværker

Brændselsforbruget opgøres på basis af en virkningsgrad, fordeling af produktionen på de 4 brændslestyper, samt den totale fjernvarmeproduktion. Der er ikke benyttet årgangsdata eller kapacitetsopgørelser for fjernvarmeværkerne.

Fjernvarmeværkerne vil i de fleste fremskrivninger have en faldende betydning, hvis der som udgangspunkt antages, at kraftvarmeandelen vil vokse. For analyser af  $CO_2$  reduktioner mv. er brændselsandelene dog også af væsentlig betydning, idet der via fordelingen af brændsel på typer kan substitueres mellem brændsler på fjernvarmeværker for hele fjernvarmekapaciteten.

På omkostningssiden opgøres brændslerne med andre priser, end hvad der gælder for varmeproduktion på kraftvarmeværker. Gasleverancen til fjernvarmeværkerne stammer i nationalregnskabssammenhæng hovedsagelig fra gasforsyningssektoren og ikke fra udvindingserhvervet. Da gas indgår som et væsentligt brændsel i fjernvarmeværkerne, og da samtidig gasprisen fra gasforsyningssektoren er meget højere end prisen på leverancen

af gas fra Nordsøen, benyttes den gaspris, som det samlede forsyningsmodul genererer. Brændselsomkostningerne bliver på denne baggrund og den lavere virkningsgrad langt højere end omkostningerne ved varmeproduktion på fjernvarmeværkerne.

I omkostningsopgørelsen for fjernvarme indgår i øvrigt udelukkende brændselsomkostninger samt et overordnet mål for kapacitetsomkostningerne.

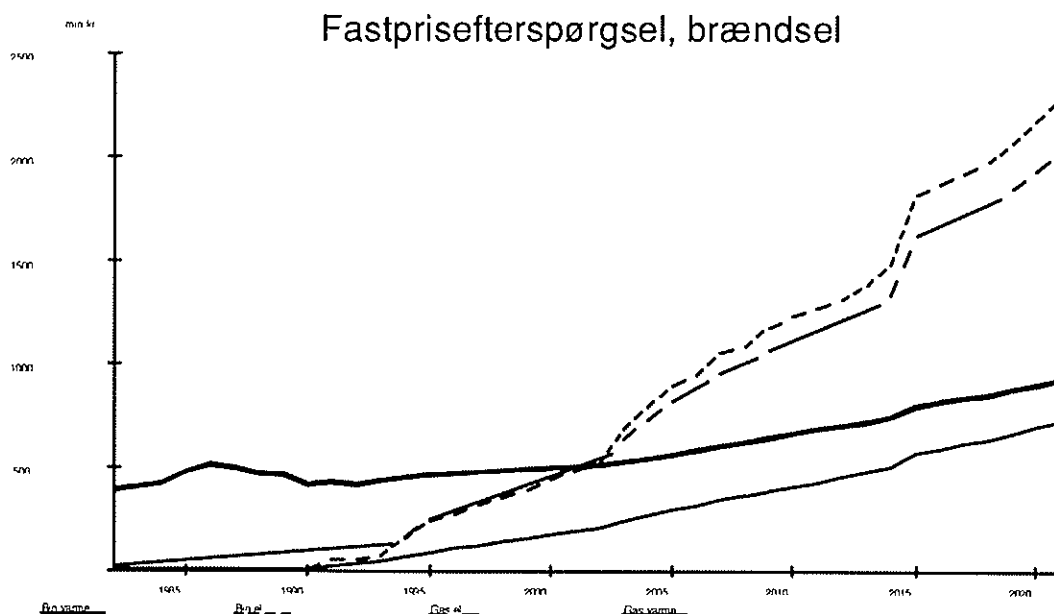
#### 4.6.5 Konvertering fra energidata til fastprisefterspørgsel

Prisen på fuelolie fra energibalancerne kan umiddelbart anvendes til konvertering til fastprisefterspørgsel for fuelolie, men der er ikke nogen direkte sammenhæng med en leverance fra ADAM erhverv eller import. Leverancen stammer i ADAM-regi både fra import og fra raffinaderierne.

Gasprisen beregnet for 1980 er ikke identisk med den gaspris, som ville have været gældende, hvis der havde været tale om naturgas i 1980. Hvis denne gaspris benyttes fås for stor en relativ betydning af gassektorens leverancer. Der anvendes en gaspris på 20 kr. pr. GJ i 1980. Gasleverancen til forsyningssektoren kan umiddelbart henføres til udvindingsspektoren, da gasimporten er minimal.

Biobrændsler kan ikke umiddelbart konverteres til fastprisefterspørgsel med nogen meningsfuld pris på basis af nationalregnskabsdata. Leverancen af biomasse til forsyningssektor antages i vores model at stamme fra dansk landbrug. Der kan dog også findes argumenter for at fordele denne leverance på flere leverandører som f.eks. import af landbrugsvarer, leverandører til byggeri eller andre tjenester i forbindelse med affaldshåndtering.

Både gasleverancen samt biobrændsler kan komme til at udgøre betydelige beløb på lang sigt. Til illustration er vist en figur med en stor andel biomasse og gas (30-40% for hver) på de nye anlæg.



Figur 4.8 Eksempel på fremskrivning af brændselsforbrug i 1980 priser.

#### 4.6.6 Øvrige inputs i forsyningssektoren

Det væsentligste element i forsyningssektorens faktorefterspørgsel er brændsels- efterspørgslen, der samtidig er det mest fluktuerende input og afgørende for udviklingen i sektorens outputpris. Der er ikke inddraget detaljerede beskrivelser af sektorens øvrige faktorinput.

Mht. beskæftigelsen i forsyningssektoren er der ikke umiddelbart anledning til at ændre på beskæftigelses-indholdet, som følge af forskydningen i brændselsvalg.

Af leverancer fra øvrige erhverv stammer den største fra bygge og anlægssektoren, men det er ikke forsøgt at knytte denne op på kapaciteten, netstørrelserne eller investeringsaktiviteten.

Udover brændselsinput påvirkes faktorinput i forsyningssektoren i ADAM kun indirekte gennem produktionens størrelse. Det er således overladt til ADAM at bestemme de øvrige inputs.

Udover materialeinput kunne det være væsentligt at beskrive udviklingen i restindkomst, men dette er kun gjort indirekte via prisdannelsen i forsyningsmodellen.

### 4.7 Prisdannelse herunder sammenvejet outputpris for forsyningssektor

Det væsentligste element i samspillet mellem forsyningsmodellen og ADAM er forsyningssektorens outputpris og den resulterende efterspørgselsudvikling i ADAM. Forsyningssektorens outputpris  $p_{xne}$  bestemmes på baggrund af en sammenvejning af outputpriserne for de tre forsyningserhverv.

Af de tre outputpriser er elprisen den mest detaljeret beskrevne prisdannelse i Hybris. Der udnyttes en detaljeret lovgivning, som opstiller regler for de omkostningselementer, der skal indgå i beregningen af elprisen. Her indgår afskrivnings- og henlæggelsesprincipper, der i denne beregning kombineres med forsyningsmodellens udbygningsplaner. Et andet fluktuerende element af prisdannelsen på el er brændselsomkostningerne, som beskrives detaljeret i denne model.

Der er flere problematiske forhold ved prisdannelsen på el, som det ikke er muligt at beskrive i Hybris. Prisdannelsen for el er i praksis kraftigt påvirket af bevægelser i eleksport og prisen på eleksport. Denne del af afsætningen er kun indirekte underlagt en lovgivningsmæssig prisrestriktion, idet evt. overskud ved eksportaktiviteterne skal komme de indenlandske forbrugere tilgode. Den betydelige prispåvirkning fra eksportaktiviteten kan illustreres ved at basisprisen for elproduktion i 1990 var 45.97 kr. pr. GJ. For 1991 var den tilsvarende pris 37.93 kr. pr. GJ, hvilket skyldes den store eleksport dette år. Eleksporten foregår til væsentligt lavere priser, end det der afsættes til i Danmark. Dette påvirker den gennemsnitlige "produktionspris" i et betydeligt omfang. Der er i den nye ADAM-version til en vis grad taget hensyn til prisdiskriminering på energi, idet der arbejdes med individuelle energipriser for input i de enkelte erhverv baseret på en kombination af forskel i afgifter og handelsavancer, men forsyningsmodulet opererer kun med en elpris.

Prisdannelsen på varme er ganske simpel, idet der hovedsagelig er tale om et fluktuerende element i form af brændselsomkostninger, samt en meget stor fast omkostning knyttet til et i øvrigt ikke modelleret varmenet.

Gasprisen beskrives som prisen fra udvindingserhvervet  $p_{xe}$  tillagt en fast omkostning, men det kunne lige så vel have været en gaspris knyttet til olieprisudviklingen.

Outputpriserne bestemmes i modellen som kr. pr. kWh eller kr. pr. GJ. produktion. Først ved sammenvejning og overførsel til ADAM konverteres til prisindeks.

#### 4.7.1 Generelle brændselspriser

Af hensyn til konsistens mellem ADAM og forsyningsmodellen må de benyttede energiprisforudsætninger fremskrives i begge dele af systemet. Vi vælger at fremskrive energipriserne i forsyningsmodulet og opdatere priserne i ADAM herfra.

Til ADAM skal fremskrives prisen for råolie ( $pm3r$ ), kul ( $pm3k$ ) og andre olieprodukter ( $pm3q$ ). Det kunne overlades til ADAM at fremskrive  $pm3k$  og  $pm3q$ , men det er simpelt at fremskrive også disse to øvrige importerede brændselspriser. Samtidig er det nødvendigt at kunne analysere forskellige prognoser for de enkelte brændsler. Kulprisen anvendes direkte i forsyningsmodellen, hvorimod fuelolieprisen, der anvendes i forsyningsmodulet, ikke nødvendigvis er identisk med prisen på import af forarbejdede olieprodukter  $pm3q$ . Fuelolieprisen fremskrives og det antages herefter at prisudviklingen for  $pm3q$  følger fuelolieprisen.

Der opereres i forsyningsmodulet med prisserier for en række brændsler. Modellen opererer med fire brændsler, men det er ganske enkelt at udvide med flere brændsler, hvis det f.eks. ønskes at opdele biomassebrændsel. Priserne for de tre af brændslerne kul, naturgas og fuelolie stammer fra energimatricerne (input i elsektoren i basispriser pr. GJ) frem til 1991. Der er i modellen indbygget prisreaktioner ved kritiske niveauer for relative brændselspriser, så fremskrivningen af brændselspriserne er af stor betydning for modellens resultater specielt mht. brændselssubstitution og emissioner.

Alle fremskrivninger foretages med basis i en brændselspris pr. GJ og modellen anvender priserne i denne form. Først ved sammenbinding med ADAM sker konvertering til et prisindeks.

#### 4.7.2 Elpris

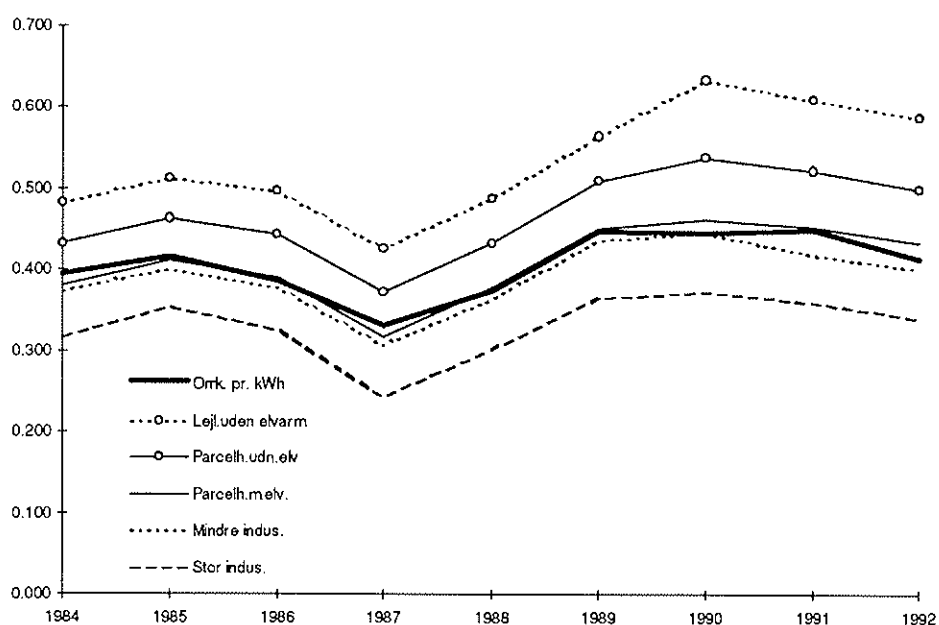
Der arbejdes i Hybris kun med en elpris. Denne bliver beregnet ved elforsynings-systemets gennemsnitsomkostning, idet det i.flg. gældende lovgivning ikke er tilladt at opbygge et overskud i forsyningssystemet. Som det ses af Figur 4.9 er gennemsnitsomkostningen en udemærket indikator for udviklingen i de forskellige forbrugstypers elpriser. Omkostningerne består af syv kategorier vist i Tabel 4.1 for året 1993. Posten over/underdækning skyldes at ikke planlagte over/underskud skal reflekteres i det følgende års elpris.

Tabel 4.1 Elforsyningssystemets omkostninger 1993. Mio. kr.

Brændsel	2506
Nettoimport af el	98
Køb fra elværksejede værker	473
Andre driftsudgifter	4370
Afskrivninger og henlæggelser	4640
Renter	137
Over/underdækning	-37
I alt (Mio. kr.)	12189
Elsalg til forbrugerne (GWh)	30625
Gns. omkostning pr kWh (øre pr. kWh)	39,8

Kilde: 10-årsstatistik. DEF 1994.

Den fremtidige elpris beregnes ved at fremskrive omkostningskomponenterne, således at gennemsnitsomkostningerne kan beregnes. I det følgende gennemgås disse komponenter en for en.



Figur 4.9 Elforsyningssystemets gennemsnitsomkostninger og elpriser for fem forbrugskomponenter. 1984-1992.

Kilde: 10-årsoversigt. DEF 1994.



### *Brændselsomkostninger*

Brændselsomkostninger opgøres som summen af omkostninger til elproduktion i det centrale elsystem, der findes via omkostningsminimering (afsnit 4.5), og brændselsomkostninger i decentral kraftvarme/-industrielle anlæg.

### *Nettoimport af el*

El importeres direkte til forbrugere i nationalregnskabsmæssig forstand, men i omkostningsopgørelsen til brug for prisdannelse for el indgår importen som en omkostning. Elimport behandles i modellen som nettoimport opgjort på basis af indenlandsk efterspørgsel fratrasket dansk produktion baseret på efterspørgsel opgjort fra ADAM. Elimport er i øvrigt principielt fremskrevet med uændrede koefficienter i ADAM, således at disse koefficienter kun justeres med ændringen i det samlede energiinput i hvert erhverv og husholdningers brændselsforbrug. Derimod fremskrives eksport af el med et konstant niveau målt i Gwh og dermed i faste priser.

Prisen på nettoimport af el vil fluktuere kraftigt både som følge af store forskelle mellem eksport og importpriser år for år, men også som følge af store bevægelser i eksport- og importmængderne år for år og en betydelig niveauforskel mellem import- og eksportpris. Det er umiddelbart valgt at fremskrive prisen uændret.

### *Køb fra ikke-elværksejede værker*

Elforsyningens opgørelse af omkostninger indeholder en omkostning til køb af el leveret fra ikke-elværksejede værker. Til brug for fremskrivning foretages en samlet opgørelse af omkostninger ved den samlede elproduktion. Ikke-elværksejede værker antages at have samme omkostningsmæssig struktur som elværksejede, således at øvrige omkostninger ved elforsyning opgøres inkl. omkostninger på ikke-elværksejede værker. Brændselsforbruget og den tilknyttede omkostning er opgjort inkl. ikke-elværksejede værkers brændselsforbrug.

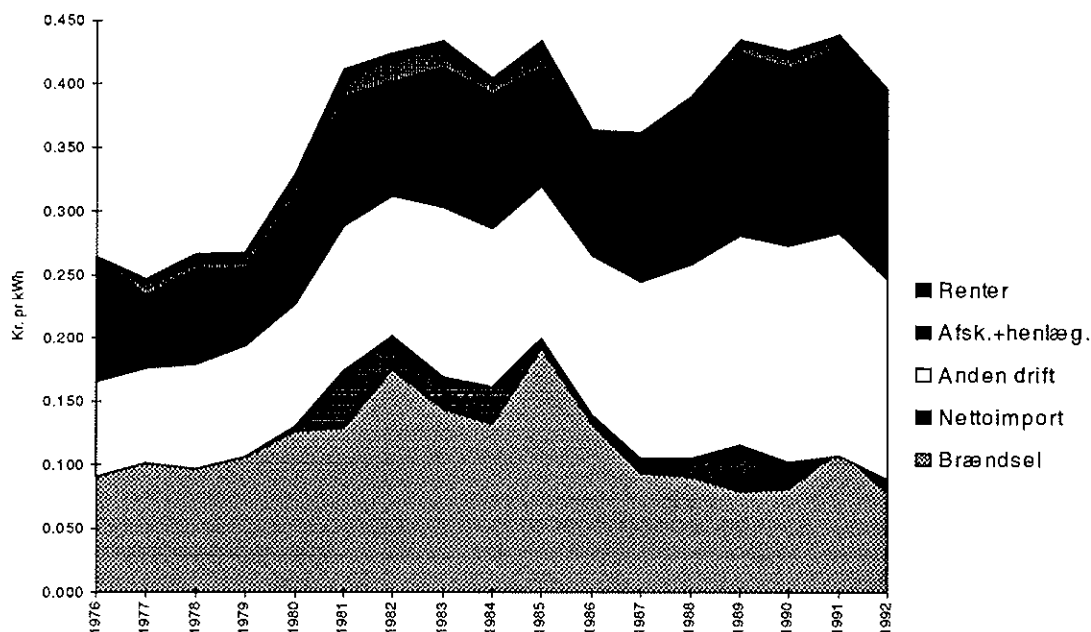
Investeringsomkostningen på ikke elværksejede decentrale kraftvarmeværker, industriel kraftvarme og andet indgår i investeringer og de tilknyttede afskrivninger og henlæggelser forbundet med elproduktion. Der er dog mulighed for, ved hjælp af en faktor, at fordele den samlede investering for decentrale kraftvarmeværker på el og varme, således at en større ikke elværksejet kraftvarmekapacitet med mere vægt på varme kan bringes til at påvirke elprisen i mindre grad.

Investeringer i vindkraft tæller også med i elforsyningens afskrivninger og henlæggelser uanset ejerform. Selve beregningen af afskrivninger og henlæggelser foregår for den samlede gruppe af sekundære produktionsanlæg, fordelingsanlæg, miljøanlæg mv.

### *Andre driftsudgifter*

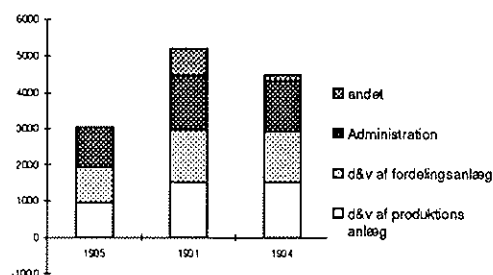
Posten "andre driftsudgifter" er den post der har vokset mest i de seneste 20 år. Den gennemsnitlige vækstrate i perioden 1976- 1992 er 9.3%. Andre driftsudgifter udgjorde 28.5% af de samlede omkostninger i 1976 og 38.3% i 1992.

Andre driftsudgifter kan opsplittes i drift og vedligeholdelse af produktionsanlæg (D&V), drift og vedligeholdelse af fordelingsanlæg (distribution og transmission), administration og andet. I Tabel 4.2 og Tabel 4.3 ses opsplitningen af andre driftsudgifter for årene 1985, 1991 og 1994. D&V af produktionsanlæg er vokset med gennemsnitligt 8.1% om året, D&V af fordelingsanlæg er gennemsnitligt vokset med 6.4% årligt og administrationsudgifterne er vokset med gennemsnitligt 6.2% årligt.



Figur 4.10. Gennemsnitsomkostninger fordelt på komponenter. 1976-1992.

Kilde: 10-årsoversigt. DEF 1994.



Figur 4.11. Opsplitning af andre driftsudgifter.

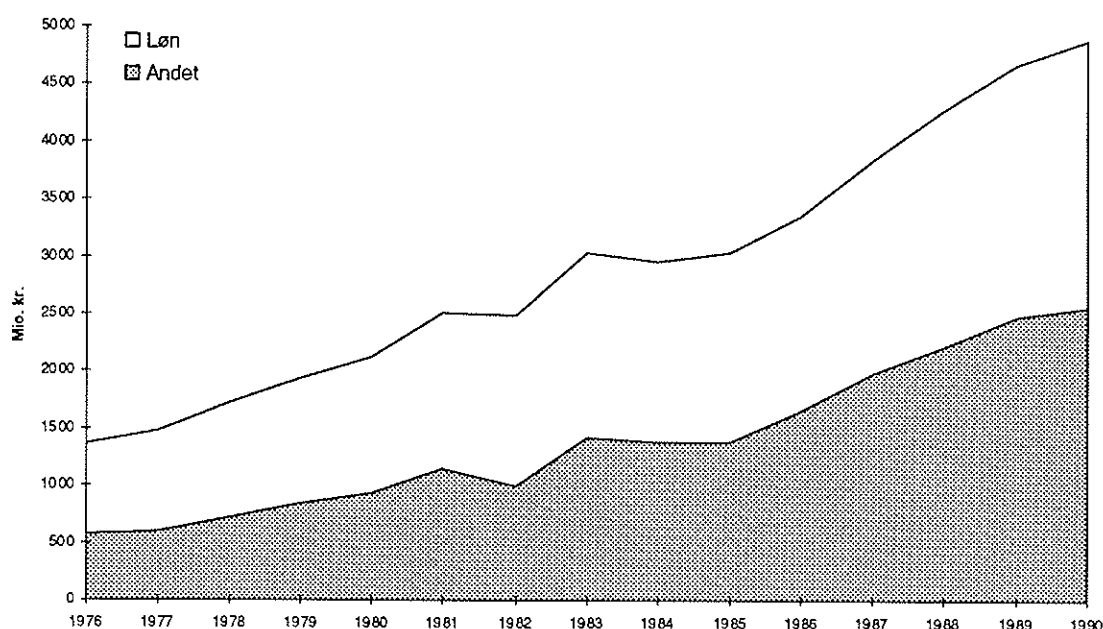
Tabel 4.2. Opsplitning af andre driftsudgifter

	1985	1991	1994
D&V af prod. anlæg	962	1532	1510
D&V af fordel. anlæg	970	1407	1418
Administration	1081	1545	1369
Andet	-6	711	168
i alt (Mio. kr.)	3007	5195	4465

Kilde: Personlig korrespondance med DEF.

Det må forventes at omkostningerne til drift og vedligeholdelse afhænger af produktions- og kapacitetsvolumen, mens administrationsomkostningerne i højere grad er bestemt af ikke-tekniske parametre. I det følgende trækkes lønomkostningerne ud af de samlede omkostninger og det demonstreres at udviklingen i de resterende omkostninger (målt i faste priser) syntes at kunne forklares ved udviklingen i det danske elsalg (målt i GWh).

Elforsyningsens samlede lønudgift 1966-1990 kan fås fra nationalregnskabet. Trækkes disse ud af "andre driftsomkostninger" fås elforsyningsens samlede materialeomkostninger (se Figur 4.12). Disse materialeomkostninger deflateres ved hjælp af et implicit prisindeks beregnet fra nationalregnskabet (prisindeks for elforsyningsens (sektor 91) samlede inputs af ikke-energi varer). Prisindekset og de deflaterede energiomkostninger ses i Tabel 4.3.



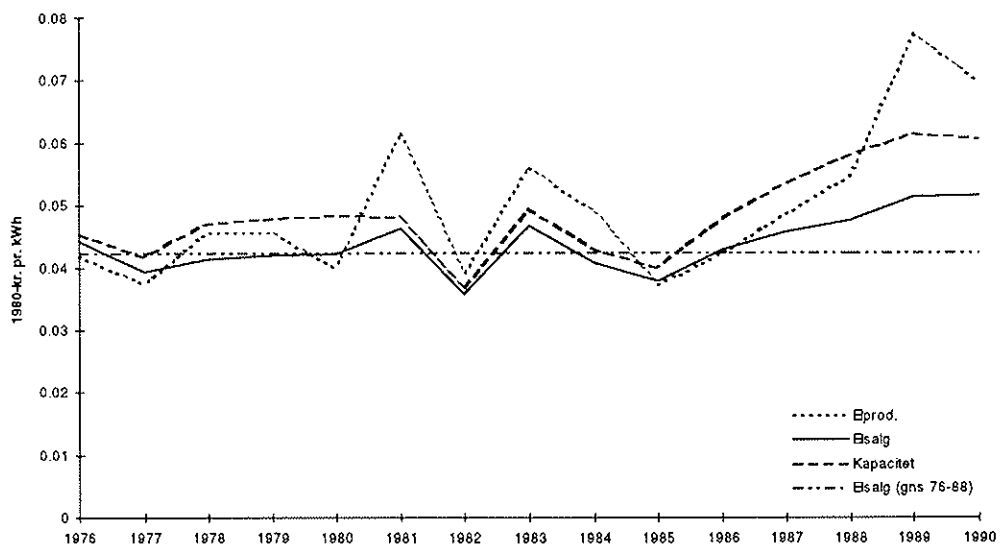
Figur 4.12. Opsplitning af "andre driftsudgifter" på løn og materialer.

Kilde: Nationalregnskabet.

Tabel 4.3. Beregning af elforsyningens materialeomkostninger i faste priser.

	Andre driftsudgifter	Løn	Materialer	Prisindeks	Materialer
	Mio. kr.	Mio. kr.	Mio. kr.	1980 = 100	Mio. 1980-kr.
1976	1360	793	567	71	797
1977	1470	882	588	77	765
1978	1720	1004	716	83	862
1979	1930	1090	840	91	925
1980	2113	1182	931	100	931
1981	2497	1357	1140	112	1013
1982	2481	1494	987	124	792
1983	3018	1603	1415	135	1051
1984	2948	1577	1371	142	967
1985	3024	1647	1377	145	951
1986	3339	1691	1648	145	1135
1987	3825	1856	1969	157	1255
1988	4261	2055	2206	167	1323
1989	4657	2199	2458	170	1449
1990	4860	2306	2554	174	1469

Kilde: DEF og nationalregnskabet.



Figur 4.13. Andre driftsudgifter ekskl. løn i faste priser. Målt pr. kWh.

I Figur 4.13 ses materialeomkostningerne i faste priser delt med elproduktion, elsalg og produktionskapacitet<sup>1</sup>. Det ses at materialeomkostningen pr. solgte kWh udviser pæn stabilitet, især i perioden 1976-88. Data tyder på at elforsyningssystemet havde ekstraordinært høje omkostninger i perioden 1989-91 (se f.eks. Tabel 4.2 og Tabel 4.3). Det vælges derfor at fremskrive materialeomkostningerne med den gennemsnitlige omkostning i faste priser pr. solgt kWh for perioden 1976-88. Denne gennemsnitlige omkostning kan beregnes til 0.0424 1980-kr pr. solgt kWh, svarende til 0.0737 1990-kr pr. solgt kWh. Ved fremskrivningen sker omregningen fra faste til løbende priser ved hjælp af ADAMs outputpris for sektoren "bygge & anlæg" idet ca. 70% af materialeforbruget skyldes input fra denne sektor.

Fremskrivningen af lønomkostningerne sker ved at tage udgangspunkt i lønomkostningen pr. beskæftiget i 1990 (196279 kr.). Denne løn fremskrives med lønindekset:

$$w_t = 0.4723 \ln ahk_t + 0.5277 \ln fhk_t,$$

hvor  $\ln ahk$  og  $\ln fhk$  er ADAM-variable for årslønnen for h.h.v. arbejdere og funktionærer. Vægtene angiver fordelingen mellem arbejdere og funktionærer i 1990. I fremskrivningen bestemmes beskæftigelsen af ADAM.

#### *Afskrivninger og henlæggelser*

Elforsyningssystemets afskrivninger og henlæggelser har siden 1977 været underlagt Handelsministeriets bekendtgørelse nr. 108. For afskrivningerne gælder det at:

*...For nye anlæg beregnes de driftsmæssige afskrivninger af den konstaterede anlægssum med fradrag af henlæggelser...Afskrivningerne, der påbegyndes fra og med idriftsættelsesåret, beregnes som lineære afskrivninger over en periode på mindst 15 år.*

Om henlæggelser står der:

*...Henlæggelserne kan tidligst påbegyndes 5 år før idriftsættelsesåret...I 5 år før idriftsættelsesåret kan der i alt henlægges indtil 75 pct. af den budgetterede anlægssum, som denne vil fremtræde på idriftsættelsestidspunktet ved akkumulering af de i anlægsperioden bogførte anlægsomkostninger excl. renter. Der kan ikke i noget år henlægges mere end 20 pct. af den nævnte budgetterede anlægssum.*

Større kraftværksinvesteringer påvirker elprisen i en periode på mindst 20 år. Dette skyldes, at der sker henlæggelser fra 5 år før kraftværket starter, og at der sker

<sup>1</sup> Kapaciteten er omregnet til MWh ved at multiplicere med benyttelsestiden 3012 timer. Dette er det danske elforsyningssystems gennemsnitlige benyttelsestid for perioden 1976-90. Omregningen er sket for sammenlignelighedens skyld.

afskrivninger mindst 15 år efter værkets start. En rimelig fremskrivning af posten "afskrivninger og henlæggelser" kræver derfor inddragelse af informationer fra 15 år før fremskrivningens basisår.

Der eksisterer gode data for afskrivninger og henlæggelser *tilsammen* for perioden 1976-1993. I det følgende søges disse omkostninger opsplittet i afskrivninger og henlæggelser. Dette er muligt, givet en forsimpelende antagelse. Det antages, at elforsyningssektorens investeringer kan opdeles i to typer: Investeringer i konventionelle kraftværker og "andre investeringer". Andre investeringer dækker miljøinvesteringer, vedvarende energianlæg (især vindkraft), fordelingsanlæg samt mindre uspecificerede investeringer. Det, der adskiller de to investeringstyper, er *investeringsprofilerne* for de enkelte investeringsprojekter. Det antages, at det tager 5 år at bygge et konventionelt kraftværk, og at den samlede anlægssum kan fordeles ud på byggeperiodens år som vist i Tabel 4.4. Den i Tabel 4.4 viste investeringsprofil er udtryk for en gennemsnitsberegning for konventionelle kraftværksinvesteringer i perioden 1976-1990.

*Tabel 4.4. Investeringsprofil for konventionelle kraftværksinvesteringer (% af anlægssum i faste priser).*

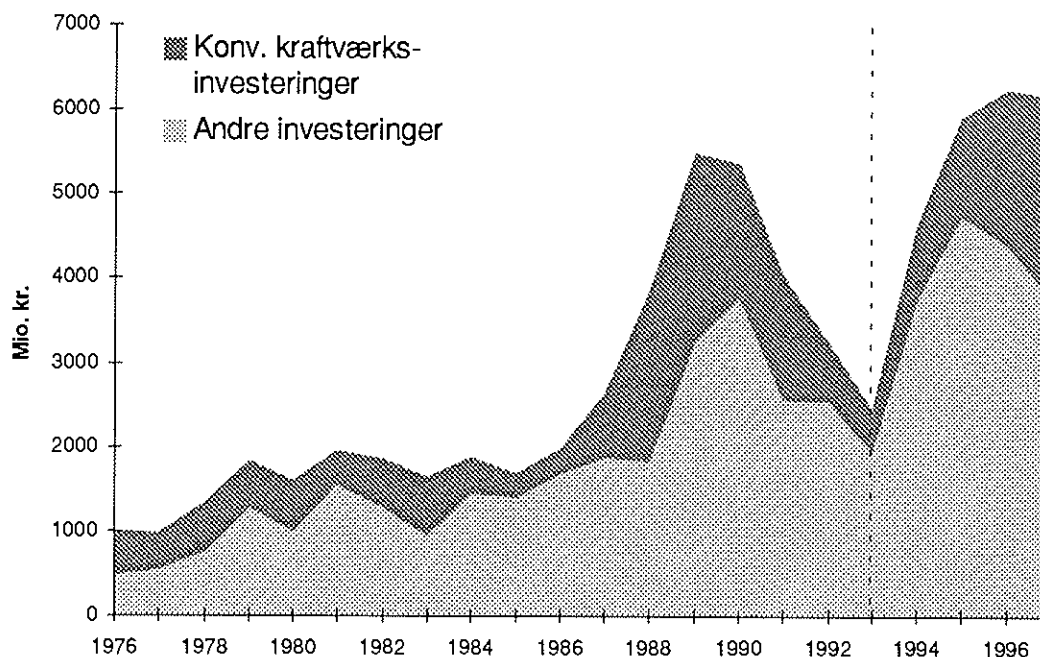
År før start	1	2	3	4	5
Investeringsprofil (%)	30	34	22	9	5

Det antages at "andre investeringer" består af investeringer der alle har samme profil. Denne profil bestemmes således, at den for perioden 1976-1993 summerede kvadratafvigelse mellem de faktiske og beregnede data for summen af afskrivninger og henlæggelser minimeres.

Opsplitningen på konventionelle kraftværksinvesteringer og andre investeringer sker på basis af Tabel 4.5. Tabellen er stykket sammen ved hjælp af ELSAM's og ELKRAFT's regnskaber og DEF's årlige statistik for den danske elforsyning. Enkelte af dataene i tabellen er skønnet ud fra den samlede anlægssum og investeringsprofilen i Tabel 4.4. De mørke skraverede arealer markerer startår. I venstre søjle er årenes samlede konventionelle kraftværksinvesteringer beregnet. Trækkes disse fra de samlede årlige investeringer (i.flg. DEF's 10'årsoversigt) fås "andre investeringer". Dette split ses i Figur 4.14. Tallene for 1994-1997 er baseret på budgetterede anlægsinvesteringer og en antagelse om 5% årlig vækst i prisen på kapitaludstyr.

Tabel 4.5. Store kraftværksinvesteringer 1976-2000

	I alt	Anlægss um	Kyndby	NEV B2	SHE B3	ASV 5	Rand.+ Hern.	MKS B3	MKS B4	AMV 3	AVV 1	FV 7	VKE B3	SV 3	NE/NK 9
Effekt	4374		260	295	305	615	134	350	349	250	250	385	400	396	385
Anlægss um	21010	22538	780	885	915	1230	402	1338	898	2010	2293	2217	2541	3564	3465
1976	528	780		266	201	62									
1977	442	885			311	111	20								
1978	581				275	271	36								
1979	542	915				418	88	30	5						
1980	601					369	137	75	20						
1981	386	1230					121	205	60						
1982	579	402						429	150						
1983	701							358	339	2	2				
1984	436	1338						208	193	28	7				
1985	289	898						33	131	82	43				
1986	283									226	57				
1987	769									208	279	264	18		
1988	2017									1464	264	180	109		
1989	2249	2010									1641	336	272		
1990	1587	2293										925	662		
1991	1472	2217										411	1061		
1992	698	2541										101	419	178	
1993	494													321	173
1994	1096													784	312
1995	1974													1212	762
1996	2247													1069	1178
1997	1040	3564													1040
1998	0	3465													
1999	0														
2000	0														



**Figur 4.14. Opsplitning i konventionelle kraftværksinvesteringer og andre investeringer.**

### 4.7.3 Varmepris

Behandlingen af prisdannelse for varme er ikke af samme detaljeringsgrad som for elpriseres vedkommende. Varmeprisen dannes på baggrund af brændselsomkostninger samt et fast omkostningselement, der skal udtrykke kapitalomkostningen knyttet til fjernvarmenettet og de kapacitetsafhængige driftsomkostninger.

De samlede brændselsomkostninger fremkommer som summen af brændselsomkostningerne fra det centrale kraftvarmesystem, de decentrale kraftvarmeanlæg og fjernvarmeværker. Brændselspriserne som benyttes er de generelle brændselspriser evt. tillagt en CO<sub>2</sub> afgift, med en enkelt undtagelse, idet gasinput i fjernvarmeværker antages leveret fra gasforsyningssektoren og dermed prissat som output fra denne sektor. Denne antagelse kan begrundes i både de implicitte priser fra energibalancerne såvel som de gældende gastariffer. Herudover kunne andre af brændselsinput for fjernvarme dog også blive specialbehandlet, idet inputpriserne generelt er meget højere end for de centrale kraftvarmeværker. Endelig er fjernvarmeværkerne pålagt energiafgifter af en ikke helt ubetydelig størrelse. Modellen er ikke indrettet på at illustrere forskelle i afgiftspålæggelse og inputpriser indenfor forsyningssektoren.

Investeringer indenfor sektoren er ikke opgjort særskilt, og der er derfor ingen afsmitning på varmeprisen heraf. Det antages, at der er et stort eksisterende varmenet som skal afskrives. Afskrivningen opgøres som et basisniveau og fremskrives herfra med investeringsprisen fra ADAM.

Varmeprisen fremskrives herefter med udviklingen i de samlede omkostninger ved varmeproduktion pr. produceret enhed.



#### 4.7.4 Gaspris

Gasprisen forstået som prisen på gasforsyningssektorens produktion bestemmes yderst simpelt, idet der tages udgangspunkt i den rene gaspris fra udvindingsektoren tillagt evt. afgift på gas. Denne pris tillægges en konstant mark-up, som er baseret på basisårets forskel mellem de to outputpriser. Gasforsyningssektorens outputpris fremskrives med udviklingen i den internationale gaspris tillagt afgifter.

Antagelserne på dette område er meget simple, idet den faktiske gaspris på leverancer fra gasforsyningserhvervet vil være stærkt varierende mellem kundegrupper.

Denne for gasforsyningssektoren beregnede pris benyttes både i den sammenvejede outputpris for forsyningssektoren samt til brug for leverancen til fjernvarmeværkerne.

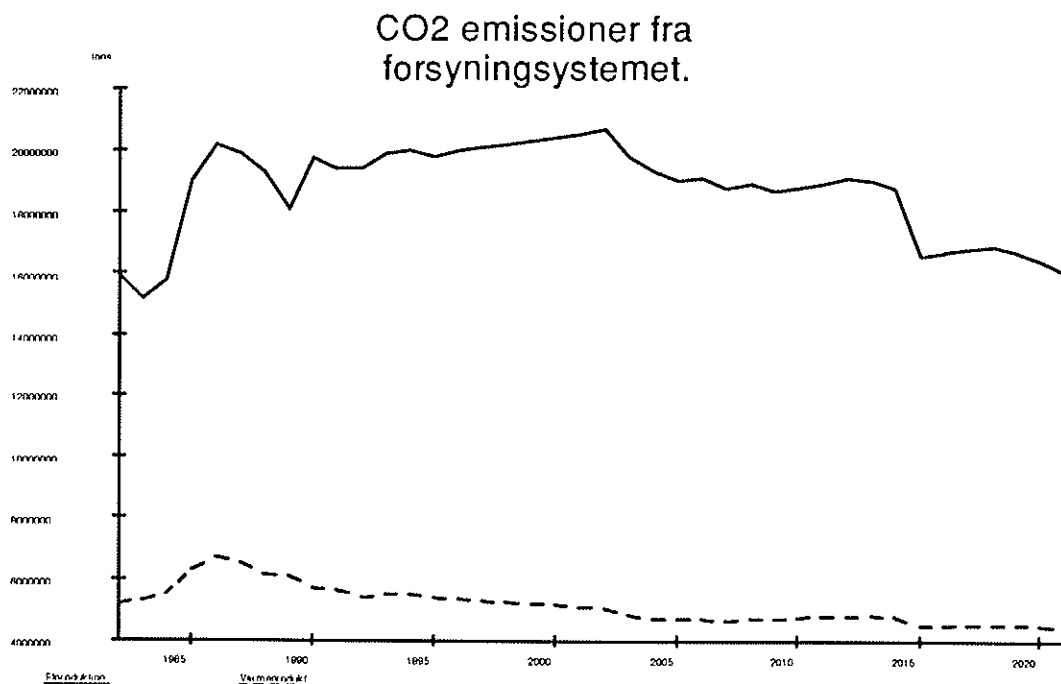
#### 4.7.5 Outputpris for forsyningssektor.

Forsyningssektorens outputpris dannes som en sammenvejning af outputpriserne i de tre underliggende erhverv. Sammenvejning foretages for de tre prisserier omsat til prisindeks med 1980 = 1. De tre prisserier omsættes til prisindeks ved at fremskrive outputprisen fra ADAM med udviklingen i de i forsyningsmodulet genererede priser for el, gas og varme. Alle afgifter knyttet til forsyningserhvervet eller brændslerne vil således være afspejlet i de priser, som overføres til ADAM.

### 4.8 Emissionsberegninger og CO<sub>2</sub> afgift.

#### 4.8.1 Emissioner

Med brændselsvalget i forsyningssektoren bestemt ovenfor og med visse simplificerende antagelser er det muligt at angive CO<sub>2</sub> emissioner for forsyningssystemet. Nedenfor er vist et eksempel på en sådan opgørelse.



*Figur 4.15 CO<sub>2</sub> emissioner fra forsyningssystemet.*

Figuren afspejler udfasningen af kulfyrede værker, der i høj grad erstattes af værker baseret på biomasse og naturgas. Denne udvikling vil til en vis grad karakterisere et bredt spektrum af mulige fremskrivninger med Hybris.

Ud over emissioner fra forsyningssystemet er der også behov for en opgørelse af de samlede emissioner fra hele økonomien. Denne opgørelse kan foretages under en række forsimplende antagelser.

#### *Forsyningssektorens emissioner*

Emissionsopgørelsen for CO<sub>2</sub> foretages direkte ud fra brændselsforbruget, men opdelt på el- og varmeproduktion. Der opereres med emissioner relateret til kul, naturgas, fuelolie og olieprodukters emission i gennemsnit. De anvendte koefficienter er gengivet nedenfor:

*Tabel 4.6 CO<sub>2</sub> emissionskoefficienter*

Kul	Naturgas	Fuel	Olieprodukter i gennemsnit
95 ton. pr. TJ	56.9 ton. pr. TJ	78 ton. pr. TJ	70 ton. pr. TJ

Emissioner for el- og varmeproduktion opgøres på baggrund af kul, naturgas og fuelolieforbruget, idet de 2 sektorer antages kun at anvende olieprodukter i form af fuelolie. Biomasseanvendelsen antages ikke at medføre CO<sub>2</sub> emission, idet denne antagelse selvfølgelig kan diskuteres. Samtidig er det kun det direkte brændselsforbrug til produktion der medtages, idet der ikke er medtaget emissioner knyttet til forsyningssektorens transportanvendelse.

Emissioner knyttet til naturgasanvendelse udenfor el- og varmeproduktion opgøres ikke som en del af forsyningssektorens emission.

#### *Samlet emissionsopgørelse*

Der kan foretages en opgørelse af de samlede emissioner af CO<sub>2</sub> fra tilgangssiden. Hertil benyttes import og produktion af de relevante brændsler.

Data for forsyningssektoren indgår også heri, men opgørelsen foretages for hvert brændsel for sig. Brændselskategorierne er kul, gas fra udvindingssektoren, importerede olieprodukter samt indenlandsk leverance fra raffinaderierne.

Kulforbruget beregnes som import i ADAM (*fm3k*) og omregnes til TJ med 1980 prisen på kulimport. 1980 prisen på 10.64 kr. pr. GJ som anvendes i konverteringen er lidt højere end den pris som anvendes i konvertering fra kulforbrug i forsyningssektoren til forsyningssektorens fastprisefterspørgsel efter kul. Denne forskel skyldes at koks og kulimport til andre erhverv har haft en højere importpris i 1980.

Import af andre olieprodukter *fm3q* baseres på en omregningspris på 40 kr. pr. GJ, hvilket er opgjort som et simpelt gennemsnit af importpriserne for olieprodukter i 1980.

Raffinaderiernes leverance til indenlandsk forbrug omregnes med den samme pris 40 kr. pr. GJ, idet fordelingen på olieprodukter antages at være den samme som for importkomponenten *fm3q*. Den indenlandske leverance er opgjort som

$$fxng_{DK} = fxng - ange3 \quad fe3 \quad (4.31)$$

Gasforbruget opgøres på baggrund af både data fra forsyningsmodulet og ADAM. Fra forsyningsmodulet haves gasforbruget til el- og varmeproduktion samt en efterspørgsel efter gasforsyningssektorens produktion. Efterspørgsel for forsyningssektorgas er genereret fra ADAM og indeholder også forsyningssektorens egen efterspørgsel efter

forsyningssektorgas. For at undgå dobbeltregning af denne leverance fratrækkes fjernvarmeværkernes gasforbrug, idet det antages at fjernvarmeværkerne er den eneste gruppering i forsyningssektoren, som anvender gas fra gasforsyningssektoren. Elproduktionserhvervet anvender ifølge nationalregnskabet ikke gas fra forsynings-erhvervet, men udelukkende udvindingsektorens naturgas. Derimod kan der godt være input af forsyningssektorgas i varmeproduktionen, men der er ikke umiddelbart data til at belyse dette spørgsmål. Det er netop dette princip, som anvendes ved generering af egenforsyningskoefficienterne *anegne* og derigennem *anene*, som overføres til ADAM.

Med den ovenfor beskrevne opgørelsesmetode ses umiddelbart bort fra emissioner knyttet til energiforbruget i raffinaderierne. Ligeledes ses bort fra evt. lagerforskydninger, idet der f.eks. for kul kan være tale om ret betydelige lagerændringer fra år til år. Endvidere er der ikke taget højde for reeksport af de importerede brændsler. Alle brændsler, som ikke er opgjort som indkøbt i Danmark, men alligevel anvendes her, indgår selvfølgelig ikke i denne form for emissionsopgørelse.

De samlede emissioner opgøres for hvert brændsel kul, gas og olieprodukter hver for sig, idet olieprodukter udgøres af de 2 grupper importerede produkter og leverancer fra raffinaderierne. Disse 2 grupper antages at have samme fordeling på forskellige olieprodukter og begge grupper antages at have emissionskoefficienten 70 ton. pr. TJ som opgivet i Tabel 4.6. Emissionerne klimakorrigeres ikke, idet dog fremskrivninger vil være klimakorrigerede i det omfang antallet af frostdøgn fremskrives med et gennemsnit.

#### 4.8.2 CO<sub>2</sub> afgift

Der arbejdes i modellen med en CO<sub>2</sub> afgift, der pålægges brændslerne fra tilgangssiden. Denne løsning er lidt enklere at håndtere fremfor at pålægge de enkelte erhverv en afgift.

Afgiften kan herved udelukkende pålægges i form af en afgift pr. ton CO<sub>2</sub> på det enkelte brændsel. Der opereres i den konkrete udformning af modellen kun med en afgift, så alle brændsler pålægges afgift efter deres CO<sub>2</sub> indhold.

CO<sub>2</sub> afgift og tilbageførsel af afgiftsprovenue er kun modelleret i en simpel udgave, idet der arbejdes med en mere detaljeret modellering af hele afgiftsområdet i Danmarks Statistiks regi, og der for tilbageførselsproblematikken er gennemført en hel del analyser af forskellige løsninger for tilbageførsel i andre ADAM sammenhænge.

##### *Afgiftspålæggelse*

Der opereres i modellen udelukkende med en CO<sub>2</sub> afgift pålagt brændslerne fra tilgangssiden. Afgiften pålægges efter brændsleres CO<sub>2</sub> indhold, og der er ikke åbnet mulighed for differentiering af afgiftspålæggelse afhængig af brændsleres anvendelse. Der kan dog vælges generelt at fritage et eller flere brændsler for afgift.

Afgiften fremskrives som en afgift pr. tons CO<sub>2</sub>, og hvert brændsel pålægges en afgift baseret på emissionskoefficienterne som angivet i Tabel 4.6. Der kan være visse problemer med denne afgiftspålæggelse i relation til energiafgifterne i ADAM. Energiafgifter i ADAM indeholder også CO<sub>2</sub>-afgift, således at den allerede eksisterende effektive CO<sub>2</sub>-afgift for erhverv og husholdninger ikke skal indeholdes i forsyningsmodellens CO<sub>2</sub>-afgift. Det er heller ikke muligt via forsyningsmodellens afgift at fremskrive den faktiske udvikling i CO<sub>2</sub>-afgift for de enkelte erhverv, som den fremstår ifølge allerede vedtagne lovgivning.

Afgifterne indgår i samtlige de prisserier, hvor brændslerne indgår i forsyningsmodellen og vil være et væsentligt instrument til at påvirke brændselsvalget på de centrale værker. Endvidere overføres afgiftsbelastningen til ADAM via prisdannelsen på el, varme og naturgas. De øvrige energipriser i ADAM påvirkes via importpriserne *pm3r*, *pm3k* og *pm3q*. Hvis der skal lægges en afgift på brændslerne, og denne komponent skal kunne

identificeres særskilt, er en mulighed at udnytte importtold på import af de 3 energivarer. Hertil udnyttes ADAM variablene *tm3r*, *tm3k* og *tm3q*. I praksis pålægges importen af råolie ikke afgift, idet denne import udelukkende indgår som input i raffinaderierne, og eksport fra raffinaderier ikke afgiftsbelægges i denne sammenhæng. Også leverancerne fra udvindingserhvervet til forsyningssektoren samt den indenlandsk anvendte del af raffinaderiproduktionen skal afgiftsbelægges. Dette foretages gennem afgiftsvariablene *tvene* og *tveng*, idet udvindingsleverancen består af naturgas, og olieprodukterne har et gennemsnitligt CO<sub>2</sub> indhold som ovenfor anvendt. Dette afføder enkelte problemer i ADAM bl.a. omkring raffinaderierne og deres outputpris og eksportprisen på energivarer *pe3*. Disse problemer er beskrevet lidt nøjere nedenfor under gennemgang af links.

Afgiftsprovenue beregnes kun på overordnet plan på baggrund af den samlede emissionsopgørelse beskrevet ovenfor. Der beregnes således hverken afgiftsprovenuer for de enkelte forsyningserhverv eller fordelt på brændsler.

### *Tilbageførsel af afgiftsprovenue*

Der er to elementer i tilbageførselsproblematikken. For det første skal afgiftsprovenuet registreres som en offentlig indtægt. For det andet skal det vælges, hvorvidt og hvordan afgiftsprovenuet skal tilbageføres til erhvervene og husholdningerne.

Afgiftsprovenuer samt tilbageførselsspørgsmålet er afgørende for modellens resultater for de makroøkonomiske variable ved afgiftskørsler. En CO<sub>2</sub> afgifts konsekvenser for økonomisk vækst beskæftigelse mv. er således ret afgørende påvirket af valg af tilbageførselsprincip. I HYBRIS er valgt at operere med et princip, hvor afgiften tilbageføres via selskabsskattesatsen. Det er ikke afgørende for samspillet mellem ADAM og forsyningsmodulet, hvilket princip som vælges, og dette valg af tilbageførselsprincip er i højere grad knyttet til egenskaber ved ADAM modellen.

Afgiftspåleggelsen i forsyningsmodellens form medfører ikke nødvendigvis en offentlig indtægt fra afgiften. Et udestående problem er, at afgiften på de importerede brændsler er pålagt som en importtold, hvor hovedparten af provenuet overføres automatisk til EU i ADAM modellen. De dele af afgiften, som pålægges de indenlandske erhverv via *tve*-variable, vil indgå i de offentlige afgiftsprovenuer umiddelbart.

Der er mulighed for at vælge alternative tilbageførselsvarianter ved ret små ændringer af forsyningsmodulet, men der er som standard valgt at lade erhvervene nyde godt af den samlede afgift i form af en nedsættelse af selskabsskattesatsen. En variant, som ofte vælges i denne sammenhæng og giver et lidt mere positivt billede af en CO<sub>2</sub> afgift, er en nedsættelse af arbejdsgiverafgifterne på arbejdskraft. Et andet alternativ er selvfølgelig fuldstændig at undlade tilbageførsel af afgiftsprovenue.

## **4.9 Output til ADAM: Link variable.**

En række variable fremtræder som direkte output af beregningerne i forsyningssystemet. Af hensyn til de konkrete relationer i ADAM, hvor disse variable indgår, er det nødvendigt at beregne justeringsled mv. før overførsel til ADAM. Endvidere skal der sikres sammenhæng mellem forudsætninger i forsyningsmodulet og i ADAM. Dette fordrer opdatering af en række prisvariable i ADAM, ligesom evt. trends i energiinput i erhvervene (AEEI) skal overføres. Nedenfor er der i detaljer redegjort for overførslen af de enkelte variable.

#### 4.9.1 Brændselsefterspørgsel.

Først bliver den totale brændselsefterspørgsel i forsyningserhvervet justeres til det i forsyningsmodul fundne niveau. Der er i hver af brændselsinputkoefficienterne i forsyningserhvervet indbygget en justering svarende til forskellen mellem det totale energiinput i erhvervet og summen af energikoefficienterne.

Det er derfor nødvendigt først at justere det totale energiinput i overensstemmelse med summen af de brændselsinput, vi har fundet i forsyningsmodul.

Energiinput er i ADAM givet som

$$fvene_t = \left( e^{\frac{(\log(fvene_{t-1}) + 1.3833 (\log(fxne_t) - \log(fxne_{t-1})) - 0.1917 (\log(fxne_{t-1}) - \log(fxne_{t-2})))}{-0.1917 (\log(fxne_{t-2}) - \log(fxne_{t-3})) - (\log(dfvene_t) - \log(dfvene_{t-1})))}} \right) (1 + jrfvene_t)(1 - dfvene_t) + dfvene_t zfvene_t \quad (4.32)$$

Ved hjælp af eksogeniseringsparameteren  $dfvene$  kan energiinputtet umiddelbart bestemmes som den eksogene  $zfvene$ .

$$zfvene = fxne(am3kne + am3qne + angne + aene + anene) \quad (4.33)$$

Inputkoefficienterne er her de i forsyningsmodul bestemte inputkoefficienter. I ADAM anvendes en korrektionsfaktor  $kvene$  til at sikre overensstemmelse mellem totalt energiinput og summen af inputkoefficienterne for energi. Når vi har sikret overensstemmelse ved eksogeniseringen ovenfor og alle inputkoefficienter opdateres i overensstemmelse med de i forsyningsmodul fundne koefficienter vil korrektionsfaktoren  $kvene$  altid være 1. Det gør opdateringen af de enkelte inputvariable noget nemmere.

$$kvene_t = \frac{\frac{fvene_t}{fxne_t} - dm3k_t am3kne_t - aene_t - anene_t}{angne_{t-1} + jdam3kne_t + anene_{t-1} + jdanene_t + (am3kne_{t-1} + jdam3kne_t)(1 - dm3k_t) + am3qne_{t-1} + jdam3qne_t} \quad (4.34)$$

Input af importeret kul kan umiddelbart genereres ud fra kulefterspørgslen i TJ. Efterspørgslen findes som summen af efterspørgslerne til elproduktion og varmeproduktion

$$fm3knel = F_{kul}^{el} k_{kul}^{el} \quad ; k_{kul}^{el} = 10.092 \quad (4.35)$$

$$fm3knev = F_{kul}^{varme} k_{kul}^{varme} \quad ; k_{kul}^{varme} = 11.08 \quad (4.36)$$

Efterspørgslen omformes herefter til io-koefficient og justeringsled i den konkrete ADAM bestemmelse.

$$am3kne = \frac{fm3knel + fm3knev}{fxne} \quad (4.37)$$

$$jdam3kne_t = am3kne_t - am3kne_{t-1} \quad ; t = 1995, \dots, 2022 \quad (4.38)$$

ADAM-bestemmelsen af kulimportkoefficienten og kulimport er gengivet nedenfor.

$$am3kne_t = dxm3k_t \frac{(am3kne_{t-1} fxne_{t-1} + jdfm3kne_t)}{fxne_t} + (1 - dxm3k_t)(am3kne_{t-1} + jdam3kne_t)kvene_t \quad (4.39)$$

Dette muliggør umiddelbart bestemmelsen af kulimportkoefficienten til forsyningssektoren via  $jdam3kne$  bestemt i (4.38), når  $kvene$  er 1 og  $dxm3k$  er 0. Selve importen til forsyningssektoren indgår via  $am3kne$  jvf. (4.40).

$$fm3k = am3kne fxne + am3knb fxnb + am3kce fce + am3kov fxov + film3k + am3ke3 fe3 \quad (4.40)$$

ADAM bestemmelsen af importkoefficient af andre olieprodukter til forsyningssektoren er gengivet nedenfor.

$$am3qne_t = (am3qne_{t-1} + jdam3qne_t)kvene_t \quad (4.41)$$

Denne importkomponent indeholder både forarbejdede olieprodukter samt elimport. Der er kun en ubetydelig elimport til forsyningssektoren, hvilket formodentlig skyldes en nationalregnskabspraksis med fordeling af den samlede elimport svarende til det relativt lille egetforbrug af el i forsyningssektoren. Det vil derfor blive antaget, at der i denne importkomponent kun er tale om olieprodukter. Forsyningsmodulet opgør olieforbruget ( $fuel$ ), hvilket herefter skal fordeles på importdelen  $fm3q$  samt leverancen fra raffinaderierhvervet  $ng$ . Den samlede inputkoefficient for olie opgøres som.

$$afuelne = \frac{F_{fuel}^{el} k_{fuel}^{el} + F_{fuel}^{varme} k_{fuel}^{varme}}{fxne} \quad (4.42)$$

Koefficienten for importleverance beregnes med udgangspunkt i fordelingen mellem raffinaderiers leverance og importleverancen af  $fuel$  i basisåret.

$$am3qne_t = \frac{am3qne_{90}}{am3qne_{90} + angne_{90}} afuelne_t \quad (4.43)$$

Koefficienten  $am3qne$  justeres i ADAM ved hjælp af  $jdam3qne$ . Således opgøres  $jdam3qne$  under antagelse af  $kvene = 1$  som:

$$jdam3qne_t = am3qne_t - am3qne_{t-1} \quad (4.44)$$

Leverance fra raffinaderier  $angne$  opgøres i forsyningsmodulet på samme vis som import af olieprodukter  $am3qne$  i (4.43)

$$angne_t = \frac{angne_{90}}{am3qne_{90} + angne_{90}} afuelne_t \quad (4.45)$$

ADAM relationen (4.46) giver en simpel endogenisering af koefficienten og igen under antagelse af  $k_{vne} = 1$  er justeringsleddet givet fra de i forsyningsmodulet beregnede koefficienter.

$$angne_t = k_{vne} (angne_{t-1} + jdangne_t) \quad (4.46)$$

$$jdangne_t = angne_t - angne_{t-1} \quad (4.47)$$

Ved forsyningsmodulets beregning af olieefterspørgslen fordelt på raffinaderier og import vil en forøget gasanvendelse i forsyningssektoren både mindske olieimport og leverance fra raffinaderier. I ADAM marts 1995 versionen er der mulighed for at lade kulimporten mindskes i samme forhold som olieimport, leverance fra raffinaderier og egenleverancen, eller at lade kulimporten være uændret. En forbedret brændselsteknologi indlagt via  $dt_{fve}$  vil således umiddelbart reducere import af kul, import af olie, leverancen fra raffinaderier, egenleverancen, men ikke leverance af naturgas fra udvindingserhvervet og leverancen fra landbrug.

I (4.48) er ADAM bestemmelsen af leverancekoefficienten for erhvervet udvinding af olie og gas til forsyningserhvervet gengivet.

$$a_{ene} = \frac{bene \cdot f_{xe}}{f_{xne}} \quad (4.48)$$

Udvindingserhvervet  $e$  er eksogent i ADAM, hvorved  $e$  erhvervets leverancekoefficient må bestemmes gennem ovenstående. Andelen af udvindingserhvervets produktion som leveres til forsyningssektoren  $bene$  er eksogen. Koefficienten  $a_{ene}$  i ADAM må således bestemmes via  $bene$ , hvilket i forsyningsmodulet gøres ved at opføre  $bene$ .

$$bene = \frac{a_{ene} \cdot f_{xne}}{f_{xe}} \quad (4.49)$$

idet  $a_{ene}$  i forsyningsmodulet er bestemt som

$$a_{ene} = \frac{(F_{gas}^{el} k_{gas}^{el} + F_{gas}^{varme} k_{gas}^{varme} + b_{jgas} k_{gas}^{el})}{1000 f_{xne}} - anegne \quad (4.50)$$

Energivariablen  $b_{jgas}$  er gasefterspørgslen fra ADAM til leverance fra gasforsyningserhvervet.

Heri indgår erhvervets leverance til sig selv opgjort i ADAM eftermodulet, som samtidig indgår i (4.50), idet andet led i tælleren indeholder både gasleverancen fra forsyningserhvervet (til fjernvarme) samt gasleverancen direkte fra nordsø (til kraftvarme). Derfor fratrækkes  $anegne$  (gasforsyningssektorens leverance til forsyningserhvervet).

$$anene \equiv anegne + anelne + anevne \quad (4.51)$$

Forsyningserhvervets samlede leverance til sig selv er givet ved (4.51). Da samtidig varmel leverancerne er nul og  $anegne$  kun går til varmesektoren forenkles beregningen lidt.

$$anegne_t = \frac{F_{gas}^{fjernvarme} k_{gas}^{varme}}{fxne_t} \quad (4.52)$$

Leverancen fra gasforsyning til forsyningserhvervet går udelukkende til varme, og der kan endvidere antages, at det kun drejer sig om leverance til fjernvarme. Kraftvarme gasforbruget leveres derimod udelukkende fra Nordsøen, hvilket bl.a. ses af den manglende leverance fra gasforsyning til elproduktion.

For elleverancen til forsyningssektoren selv antages uændret koefficient (*anelne* sættes til 0.0031). Herved haves *anene* fra (4.51) og denne koefficient kan via justeringsled jvf (4.53) indgå i ADAM. Både *anegne* og *anelne* overføres ligeledes til ADAM til brug for eftermodellens beregning af efterspørgsleme, idet der derved sikres en konsistent beregning af produktionen i forsyningssektoren i alt (*fxne*) og efterspørgsleme for el, gas og varme.

$$anene_t = kvenet (anene_{t-1} + jdanene_t) \quad (4.53)$$

Alle de fem brændselskomponenter, forsyningsmodulet bestemmer til input i ADAM, indgår i flere af forsyningserhvervets ADAM relationer. Der er således behov for at gennemgå disse for at sikre konsistens mellem det samlede forsyningserhverv og brændselsinput.

Ud over de ovenfor nævnte brændsler indgår biomasse i forsyningsmodulet. Der er i marts 1995 versionen af ADAM inddraget en leverance fra landbruget til forsyningssektoren. Det antages i forsyningsmodulet at den samlede biomasse leveres fra landbruget, uden at der er taget stilling til om det drejer sig om halm eller deciderede energiafgrøder.

$$aane_t = \frac{fane_t}{fxne_t} \quad (4.54)$$

Leverancen i faste priser *fane* bestemmes som de øvrige leverancer i forsyningsmodulet og kan som eksogen opdateres direkte i ADAM.

$$fane = F_{bio}^{el} k_{bio}^{el} + F_{bio}^{varme} k_{bio}^{varme} \quad k_{bio}^{varme}; k_{bio}^{el} = 20kr.pr.GJ i 1980 \quad (4.55)$$

I eftermodellen *linkeftm* i PCIM sker der en proportional justering af koefficienterne for det enkelte erhvervs efterspørgsel efter de tre forsyningserhvervs produktion: el, gas og varme. Justeringen foretages for at afstemme de underliggende koefficienter med det samlede forsyningserhvervs koefficient. Dette er nødvendigt, hvis der i ADAM f.eks. er indlagt energieffektivitetsforbedringer i de enkelte erhverv i form af *dtfve*-variable.

Det overlades til ADAM at bestemme forsyningssektorens øvrige faktorefterspørgsel via produktionen *fxne*.

#### 4.9.2 Priser

Der er i ADAM kun en pris for forsyningssektorens output (*pxne*). Forsyningsmodulet danner derimod priser for alle de 3 forsyningserhverv *pxnel*, *pxnev* og *pxneg*. Heraf er bestemmelsen af elprisen den absolut mest detaljerede. Der sker derfor først en sammenvejning af de tre forsyningserhvervs pris til et udtryk for *pxne*. Den væsentligste påvirkning fra forsyningsmodul til ADAM går gennem denne variabel.



Ændringer i el-, gas- og varmepris har i denne sammenhæng således identisk påvirkning af energiprisen i ADAM og efterspørgselen efter alle 3 produkter vil ændre sig ved en ændring i outputprisen på et af produkterne. Der vil her kunne drages nytte af det arbejde, der foregår i det Strategiske Miljøforsknings Program (SMP) omkring en opsplitning af energi-efterspørgslen på arter. Effekten af prisændringer for el-, gas- og varme vil hermed blive mere direkte og differentieret.

Den nye ADAM version har medført omtrent en fordobling af den samlede priselasticitet i efterspørgselen efter forsyningserhvervets produktion.

Der er tidligere ved ændring i ADAM relationerne i Okt91-versionen undersøgt efterspørgselsvirkningerne for elefterspørgsel og de 2 andre forsyningsvarer hver for sig. Dette gav dog meget moderate effekter af ændringer af elprisen, da der her kun var tale om egentlige prisreaktioner for det samlede privatforbrug af brændsel .

Forsyningsprisen dannes i forsyningsmodulet som

$$pxnex = \frac{pxnel \cdot fxnel + pxnev \cdot fxnev + pxneg \cdot fxneg}{fxne} \quad (4.56)$$

I ADAM kan  $pxne$  eksogeniseres ved hjælp af eksogeniseringsdummyen  $dpxne$  sat til 1.  $Pxne$  er herefter givet som (4.57) i ADAM.

$$pxne = dpxne \cdot pxnex \quad (4.57)$$

Brændselspriserne i forsyningsmodul og ADAM skal være konsistente, hvilket må gøres ved enten at fremskrive priserne i grundkørslen i ADAM eller at danne energipriserne i forsyningsmodulet. Udgangspunktet har indtil videre været Energistyrelsens energipris-fremskrivninger til beregninger af brændselsomkostningerne og som input i prisdannelsen for el.

Prisen på råolie  $pm3r$  er den dominerende energipris i ADAM . De andre brændselspriser er i højere eller mindre grad afhængige af denne, hvis der ikke foretages specielle justeringer. Det antages, at energipriserne i ADAM opdateres under særskilt hensyntagen til brændselspriser for både råolie, forarbejdede olieprodukter(fuel), kul samt leverance fra nordsø (gas). Som udgangspunkt er det valgt at fremskrive energipriserne i forsyningsmodulet og overføre prisfremskrivningen til ADAM. Der sker således i forsyningsmodulet en konvertering af brændselspriser pr. GJ til prisindeks i overensstemmelse med ADAM baseret på et valgt basisår.

Konsistens til ADAM priser sikres ved at generere ADAM energipriserne som følger, idet  $pm3r$  er eksogen.

$$pm3r_t = pm3r_{t-1} \frac{r\acute{o}oliepris_t}{r\acute{o}oliepris_{t-1}} \quad (4.58)$$

I ADAM følger prisen på forarbejdede olieprodukter  $pm3q$  prisudviklingen på råolie jvf .

$$pm3q_t = \left( pm3q_{t-1} \cdot kpm3q_t \cdot \frac{pm3r_t}{pm3r_{t-1}} \right) (1 + jrpm3q_t) \quad (4.59)$$

Vækstraten kan skaleres i forhold til råolie ved hjælp af  $kpm3q$  og denne variabel kan udnyttes til generering af olieprisudvikling svarende til fuelprisen i forsyningsmodulet, hvis der antages en anden prisudvikling for fuel end for råolie.

$$kpm3q_t = \frac{fuelpris_t}{fuelpris_{t-1}} \frac{pm3r_{t-1}}{pm3r_t} \quad (4.60)$$

For prisen på kulimport gælder tilsvarende i ADAM.

$$pm3k_t = \left( pm3k_{t-1} kpm3k_t \frac{pm3r_t}{pm3r_{t-1}} \right) (1 + jrpm3k_t) \quad (4.61)$$

Her genereres i forsyningsmodulet en koefficient til anden prisstigningstakt for kul.

$$kpm3k_t = \frac{kulpris_t}{kulpris_{t-1}} \frac{pm3r_{t-1}}{pm3r_t} \quad (4.62)$$

Prisen på udvindingserhvervets produktion følger i ADAM prisudviklingen for råolie inkl. told på råolien jvf. (4.63).

$$pxe_t = \left( pxe_{t-1} \frac{pm3r_t + tm3r_t}{pm3r_{t-1} + tm3r_{t-1}} \right) (1 + jrpxe_t) \quad (4.63)$$

Der er for udvindingserhvervets pris 2 hovedkomponenter, idet både råolie og naturgas fra Nordsøen indgår. Hvis prisudviklingen på disse 2 er identisk i forsyningsmodulet og endvidere der ikke sker forskydninger mellem gasandelen ( $bene$ ) og olieandelen, er der ikke behov for korrektioner. Er der derimod en divergerende prisudvikling eller ændring i andelen er det nødvendigt at indarbejde dette i prisudviklingen for den samlede pris  $pxe$ . Der er endvidere den ulempe, at forsyningserhvervets input af nordsø gas tilregnes den samme pris som råolien, der leveres til raffinaderierne. I forsyningsmodulet benyttes 2 gaspriser, idet gasforsyningssektorens leverance til forsyningserhvervet (fjernvarme) foregår til den pris forsyningsmodulet danner som outputpris fra gasforsyningserhvervet.

Der korrigeres for disse forhold ved følgende beregning

$$jrpxe_t = \frac{\left( \frac{r\ddot{a}oliepris_t (1 - bene_t) + gaspris_t bene_t}{r\ddot{a}oliepris_{t-1} (1 - bene_{t-1}) + gaspris_{t-1} bene_{t-1}} \right)}{\frac{pm3r_t + tm3r_t}{pm3r_{t-1} + tm3r_{t-1}}} - 1 \quad (4.64)$$

Ændringen i den vægtede olie og gaspris målt pr. GJ sættes hermed i forhold til ændringen i prisen på olien alene. Der er forudsat, at leverancen til forsyningssektoren udelukkende består af gas og leverancen til øvrige formål alene af olie.

For prisen på raffinaderiernes produktion  $pxng$  antages at gælde en pris, der svarer til fuelprisen. Denne pris kan fortsat bestemmes som i ADAM følgende prisudviklingen på importerede olieprodukter tillagt told, idet prisen på olieprodukterne er dannet efter fuelprisudviklingen ovenfor. Det skal dog tilføjes, at told ikke automatisk indgår i den brændselspris for fuel, der anvendes i forsyningsmodulet.

### 4.9.3 Investeringer

Investeringerne i forsyningsmodulet opgøres ud fra kapaciteterne, investeringspriser og investeringsprofiler for kapacitetsudvidelser.

Den direkte forbindelse til ADAM er noget vanskelig, da forsyningserhvervets bygge- og anlægsinvesteringer indgår i den store puljebestemmelse af de private bygningsinvesteringer. For maskininvesteringerne er der med den nye ADAM version givet mulighed for en eksogenisering af det enkelte erhvervs maskinkapital. Herigennem er det muligt at opdatere forsyningssektorens maskininvesteringer. Kapitalomkostningerne indgår herudover i forsyningsmodulets prisdannelse og spiller herigennem sammen med ADAM.

Maskininvesteringerne i det samlede forsyningserhverv overføres til ADAM ved hjælp af eksogenisering af erhvervets maskinkapital i nedenstående ADAM relation.

$$fkmne_t = \left( e^{\left( \log(fkmne_{t-1}) + 0.2(\log(fkmnew_t) - \log(fkmnew_{t-1})) + 0.2(\log(fkmnew_{t-1}) - \log(fkmnew_{t-2})) + 0.2(\log(fkmnew_{t-2}) - \log(fkmnew_{t-3})) \right. \right. \\ \left. \left. + 0.2(\log(fkmnew_{t-3}) - \log(fkmnew_{t-4})) + 0.2(\log(fkmnew_{t-4}) - \log(fkmnew_{t-5})) \right) \right) (4.65) \\ (1 + jrfkmne_t) (1 - dfkmne_t) + dfkmne_t zfkmne_t$$

Maskinkapitalen opgøres ud fra de i forsyningsmodulet beregnede investeringer *fimne*.

$$zfkmne_t = 0.85 zfkmne_{t-1} + fimne_t \quad (4.66)$$

For bygningsinvesteringerne er der i den nuværende formulering mulighed for at lade afvigelser i forsyningssektorens investeringer indgå i justeringsleddene *jdfipb* eller *jvipbl* eller i den eksogene komponent fra investeringerne i udvindingserhvervet *fjem* og *fieb*. Fuldstændig eksogenisering af de totale bygningsinvesteringer virker ikke som nogen god løsning.

En lidt arbitrær måde at konstruere justeringsleddet *jvipbl* så resultatet bliver det ønskede fald i investeringerne er følgende.

$$jvipbl_t = 7(fibne_t^{Forsyn} - fibne_t^{ADAM}) + 0.075 \sum_{i=-14}^{-1} jvipbl_i \quad (4.67)$$

Det forudsættes igen her at justeringsleddene ikke allerede anvendes. Samtidig er der problemer med de simultane effekter af nedsættelsen af investeringerne. Denne linkvariabel er p.t. slået fra og påvirkningen af bygningsinvesteringerne går gennem produktionsværdien i den normale ADAM specifikation. Det skal her erindres, at bygningsinvesteringerne i ADAM påvirkes relativt kraftigt af en ændring af forsyningssektorens produktion *fxne*, idet "bygningsskvoten" er 3.5 i det overordnede produktionsudtryk *fxvb*, der indgår i investeringsbestemmelsen.

Den nye ADAM version har medført en ændret specifikation af bygge og anlægsinvesteringerne. Forsyningssektorens bygningsinvesteringer er indeholdt i den centrale bestemmelse af bygningsinvesteringerne, men der er ikke tale om en opsplitning af disse totale investeringer med en andel til forsyningserhvervet. Forsyningserhvervets bygningsinvesteringer vokser derimod med BFI i sektoren for den del af erhvervets investeringer som ikke er indeholdt i den eksogene investeringskomponent *fieb*. Relationen har følgende konkrete udformning.

$$fibne_t = fieb_t - fibe_t + (fibne_{t-1} - (fieb_{t-1} - fibe_{t-1})) \left( \frac{fyfne_t}{fyfne_{t-3}} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{1}{kfibp_t} \quad (4.68)$$

#### 4.9.4 CO<sub>2</sub> afgift og tilbageførsel af afgiftsprovenu.

Forsyningsmodulet indeholder som andetsteds beskrevet mulighed for at pålægge en CO<sub>2</sub> afgift på brændsler. Afgiften pålægges brændslerne direkte i henhold til CO<sub>2</sub> indhold og der er ikke mulighed for at differentiere afgiften mellem forskellige forbrugere. Forsyningsmodulets brændselsberegninger udføres inkl. denne afgift, således at outputprisen for forsyningssektoren afspejler afgiftspåvirkningen. Samspillet med ADAM er på dette område ikke den eneste mulige løsning og er at betragte som en midlertidig løsning indtil bedre afgiftsbelastningsmodeller er opstillet.

Agiften er søgt pålagt ADAM fra tilgangssiden, således at de importerede brændselskomponenter tillægges afgift i form af importtold og raffinaderiernes produktion tillægges afgift via deres eget energiinput. Der er for importsiden et problem omkring provenuet af told, idet ADAM overfører en del af provenuet til EU. Dette problem er ikke løst.

Toldsatserne bestemmes i forsyningsmodulet som afgiften pr. GJ i forhold til brændselspris uden afgift, gange ADAM prisindekset for denne brændselskomponent.

$$tm3r_t = \frac{råolieafgi_{ft_t}}{råoliepris_t} pm3r_t \quad (4.69)$$

$$tm3k_t = \frac{kulafgift_t}{kulpris_t} pm3k_t \quad (4.70)$$

$$tm3q_t = \frac{olieproduktafgift_t}{fuelpris_t} pm3q_t \quad (4.71)$$

Der kan specielt være et problem omkring afgiften på forarbejdede olieprodukter, da der antages at være et konstant gennemsnitligt lavere CO<sub>2</sub> indhold heri end i fuel. Denne antagelse gælder ligeledes for produktionen fra raffinaderierne, som pålægges afgift ud fra samme CO<sub>2</sub> indhold. Afgiften på fuel er lidt højere og er den afgift som anvendes for forsyningsserhvervets input af fuel.

Ud over de importerede olieprodukter pålægges raffinaderierhvervet og forsyningsserhvervet en afgift. Forsyningsserhvervet anvender brændselsinput inkl. afgifter i alle beregninger, men omkostningen til afgifterne og provenuet beregnes fortsat i ADAM. Derfor skal der opdateres et afgiftsprovenu i ADAM. Kulimport samt import af forarbejdede olieprodukter indeholder allerede i ADAM en afgift i form af told. Derimod er leverancen til forsyningsserhvervet *ne* fra udvindingserhvervet *e* ikke belagt med afgift i ADAM. Denne leverance består alt overvejende af naturgas og afgiftsprovenuet beregnes derfor

$$tvene_t = tvne_{93} + \frac{emisgas_t CO_2 afg_t}{fvne_t} \quad (4.72)$$

Den totale emission forbundet med gasforbruget målt i ton CO<sub>2</sub> er opgjort som *emisgas* og *CO<sub>2</sub>afg* er afgiften pr. ton CO<sub>2</sub>.

Raffinaderierhvervet *ng* har input fra udvindingserhvervet *e*. Denne leverance er heller ikke belagt med afgift og her benyttes afgiftssatsen *tveng* ligeledes til at pålægge afgift.

$$tveng_t = tveng_{93} + \frac{emisng_t \cdot CO_2afg}{fveng_t} \quad (4.73)$$

Emissionsstørrelsen *emisng* er opgjort på baggrund af den indenlandsk forbrugte del af *fxng*, idet brændselsforbruget er opgjort som

$$Brændselng = \frac{(fxng - ange3 \cdot fe3)}{TJ \text{ pr. fastpriskrone } fxng} \quad (4.74)$$

Den afgift som pålægges forsyningserhvervet vil blive indeholdt i forsyningserhvervets outputpris. Det er dog kun den indenlandske del af forbruget som skal pålægges afgift og eksportprisen *pe3* bør derfor justeres for denne påvirkning. Hvis afgiftsprovenuet skal være korrekt, kan der ikke umiddelbart justeres yderligere på afgiftssatsen *tveng* for at hæve den indenlandske pris på raffinaderiproduktionen svarende til, at det kun er den indenlandske del af afsætningen, som skal bære afgiften. Outputprisen *pxng* bliver hermed mindre end ved fuld afgiftsbelastning. Eksportprisen for eksport af energivarer *pe3* justeres via *kpe3*.

$$kpe3_t = kpe3_{t-1} \left( 1 - (ange3_t + am3qe3_t) \frac{tm3q_t - tm3q_{t-1}}{pm3q_{t-1} + tm3q_{t-1}} \right) \quad (4.75)$$

Afgiftsprovenuet bliver i den nuværende specifikation i forsyningsmodulet tilbageført til erhvervene ved en nedsættelse af selskabsskattesatsen. Der kan her meget enkelt undlades tilbageføring eller opstilles andre modeller for tilbageføring. Tilbageføringsprincippet er meget afgørende for de makroøkonomiske konsekvenser af CO<sub>2</sub> afgift, og dermed for hele samspillet mellem ADAM og forsyningsmodul.

Tilbageførsel foregår med baggrund i et totalt beregnet afgiftsprovenu ud fra det totale brændselsforbrug i TJ og afgiften pr. ton CO<sub>2</sub>. Afgiftsprovenuet med negativt fortegn overføres til ADAM via *jsdsr* i relationen nedenfor.

$$sdsr_t = \left( \frac{kdsr2 \cdot tsds \left( yrs1_{t-1} + tippst_{t-1} - \frac{(ipv4_{t-1} - ipv4bk_{t-1}) + (ipv4_{t-2} - ipv4bk_{t-2})}{2} \right) + 3751.73 \cdot (d8593_t) + jsdsr_t}{(1 - dsdsr_t) + dsdsr_t \cdot zdsdsr_t} \right) \quad (4.76)$$

Dette er dog ikke tilstrækkeligt til at sikre korrekt investeringsadfærd i ADAM. Der må ligeledes justeres i den forventede selskabsskattesats *tsdsu*.

$$tsdsu = (tsds + jsdsu)(1 - dtsdsu) + dtsdsu \cdot ztsdsu \quad (4.77)$$

Efter et par iterationer vil nedenstående justeringsled være faldet på plads.

$$jtsdsu = \frac{jsdsr}{sds - jsdsr} \cdot tsds \quad (4.78)$$

#### 4.9.5 Effektivitetsudvikling i erhvervenes energianvendelse

I 15 af ADAM erhvervene er der i marts 1995 versionen af ADAM indført en effektivitetsvariabel i erhvervenes energiinput. Disse variable indeholder de estimerede trends for de enkelte erhverv. Der gives i forsyningsmodulet mulighed for at opdatere disse variable med udgangspunkt i basisåret 1993. Der er udelukkende mulighed for at give alle erhvervene samme udvikling, hvilket afviger stærkt fra de trends der ligger historisk. Disse variable kan opfattes som en eksogen effektivitetstrend *AEEI*, der typisk vil ligge mellem ½ og 2% om året. Eksempelvis opdateres effektivitetstrenden for maskinindustrien med en vækstrate *AEEI* som

$$dtfvenm_t = dtfvenm_{t-1} (1 + AEEI) \quad (4.79)$$

Endelig foretages en mindre korrektion af eleksporten, idet det antages at eksporten fra forsyningssektoren fortsat udelukkende kommer til at bestå af el. Dette virker rimeligt med baggrund i at varme ikke eksporteres, og at naturgas må antages at blive eksporteret direkte fra udvindingserhvervet. Eleksporten fastholdes på et eksogent niveau i faste priser eller GWh om man vil. Dette kan være nødvendigt for at sikre at kapaciteten i elproduktionssystemet ikke sprænges. Hvis eksportkomponenten *fe3* vokser jævnt, kan den samlede elefterspørgsel stige hurtigere end den indenlandske elefterspørgsel, der er den kapacitetsdimensionerende efterspørgselsstørrelse.

$$anee3_t = \frac{anee3_{93} fe3_{93}}{fe3_t} \quad (4.80)$$

Der overføres/opdateres således i alt ca. 35 variable i ADAM, idet en betydelig del jvf. ovenfor er koefficienter og justeringsled.

## 5. Apparatmodulet ELMO

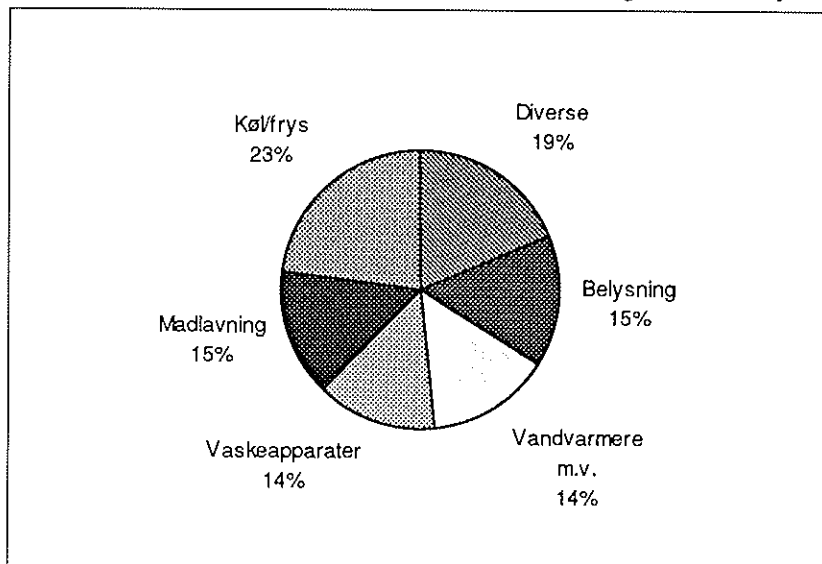
### 5.1 Husholdningernes energiforbrug

Det samlede endelige energiforbrug i danske husholdninger udgjorde ca. 181 PJ i 1994, svarende til ca. 30% af det samlede danske energiforbrug. Husholdningsforbruget kan opsplittes på et forbrug til opvarmning, der primært udgøres af fjernvarme, naturgas, olie og en mindre andel elektricitet, samt det øvrige elforbrug til apparater og belysning.

Udgifterne til energiforbruget i husholdningerne udgjorde ca. 6% af det private konsum i 1994, heraf ca. 60% til opvarmning og ca. 40% til elapparater og belysning.

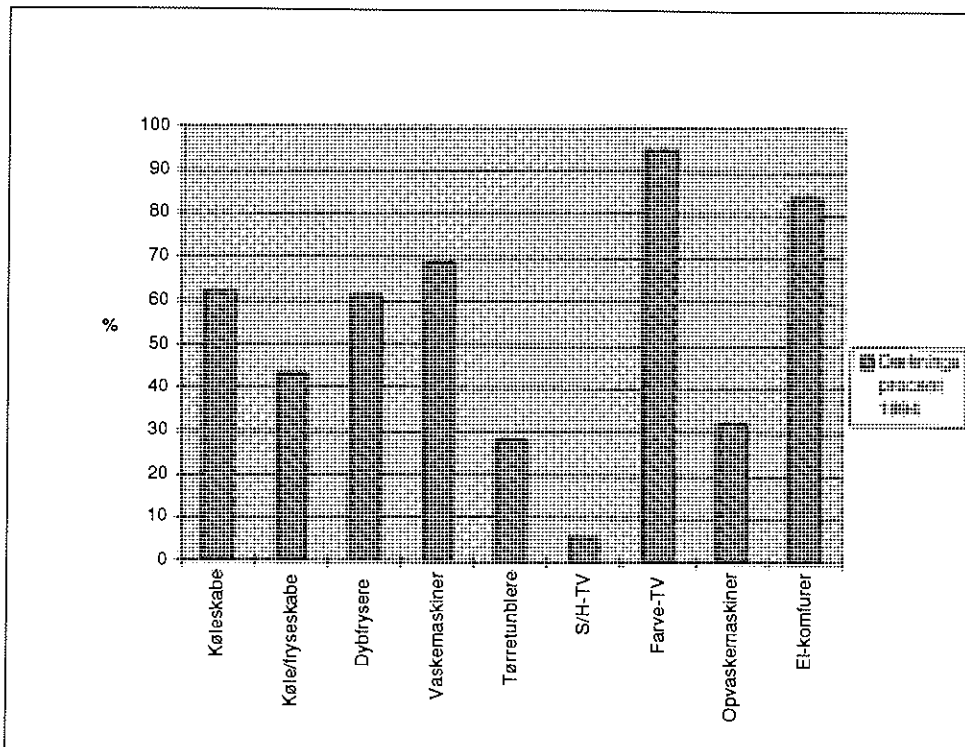
Forbruget til opvarmning, herunder elvarme, er behandlet i kapitel 6 og vil ikke blive yderligere berørt her. Dette afsnit vil primært beskrive det udviklede modul for elforbruget til apparater og belysning.

Det samlede elforbrug i husholdningerne udgjorde ca. 9600 Gwh i 1994. Af dette udgjorde elvarme ca. 2100 Gwh, hvorfor det resterende forbrug til apparater og belysning udgjorde ca. 7500 Gwh, svarende til knap 25% af det samlede danske elforbrug. Fordelingen af husholdningernes elforbrug på hovedanvendelser er vist i Figur 5.1. Som det fremgår af figuren går den største del af elforbruget til køle/fryse-apparater.



*Figur 5.1: Husholdningernes elforbrug fordelt på elanvendelser (eksklusiv rumopvarmning), 1994. (Kilde: Dansk Elforsyning, maj 1995).*

Hovedparten af apparatforbruget er knyttet til relativt få apparater inden for de enkelte anvendelsesområder (jvf. Figur 5.1), dog med diverse grupper som undtagelse. Udbredelsen af de væsentligste elforbrugende apparater er vist på Figur 5.2, som viser det procentuelle antal husstande, der besidder det pågældende apparat i 1994 (dækningsprocenten).



**Figur 5.2: Elapparater i husholdningerne, % af samtlige husstande der besidder apparatet (1994).** (Kilde: Dansk elforsyning, maj 1995).

Afsnit 5.2 omhandler nogle generelle karakteristika for en bottom-up model for husholdningernes forbrug af el til apparater og belysning. I afsnit 5.3 beskrives hvorledes apparatmodul, der indgår i Hybris-modelstrukturen, er opbygget. I afsnit 5.4 er vist modulets relationer til ADAM-modellen. Efterfølgende er modulets enkelte dele nøjere beskrevet og endelig afsluttes med et eksempel på beregningsresultater.

## 5.2 Bottom-up model for elforbruget til apparater i husstande

Bottom-up modeller, der beskriver forbruget af elektricitet til husstandenes apparater, er typisk baseret på fysiske relationer. Udgangspunktet for disse modeller er således de enkelte apparater eller apparattyper, opdelt efter den service apparatet yder. For hver apparattype bestemmes antallet af det pågældende apparat og energiforbruget relateret til brugen af apparatet. Ved summation over samtlige apparattyper bestemmes husstandenes samlede forbrug.

Følgende karakteristika kan nævnes for bottom-up apparatmodeller:

der opsplittes i et antal specifikke apparater, afhængigt af den service apparatet yder - eksempelvis køleskabe, frydere, vaskemaskiner osv. De mest energiforbrugende apparater prioriteres, og småapparater slås ofte sammen i en restgruppe.

for hver apparattype bestemmes bestanden af apparatet (det samlede antal). I mere avancerede modeller opdeles bestanden på de enkelte årgange, idet et apparat følges fra det bliver solgt ("født") til det bliver skrottet ("dør"). Der tales i så fald om en årgangsbestandsmodel.

hyppigheden, hvormed den enkelte apparattype anvendes, specificeres normalt som eksogen, baseret på data fra forbrugerundersøgelser o.l. Anvendelsesfrekvensen kan eventuelt variere over tiden - eventuelt kan den følge årgangen på apparatet. Endelig kan



anvendelsen gøres afhængig af økonomiske parametre (eksempelvis ved en energipriselasticitet eller en indkomstelasticitet).

apparaternes energieffektivitet bestemmes ud fra produktoplysninger. I de mest simple modeller indgår et gennemsnitsforbrug per anvendelse for den samlede bestand - i årgangsbestandsmodellerne indgår effektiviteten for hver enkelt årgang af apparatet. I sidstnævnte tilfælde får til- og afgang fra bestanden væsentlig indflydelse på det gennemsnitlige forbrug, såfremt der er store variationer i årgangenes effektivitet.

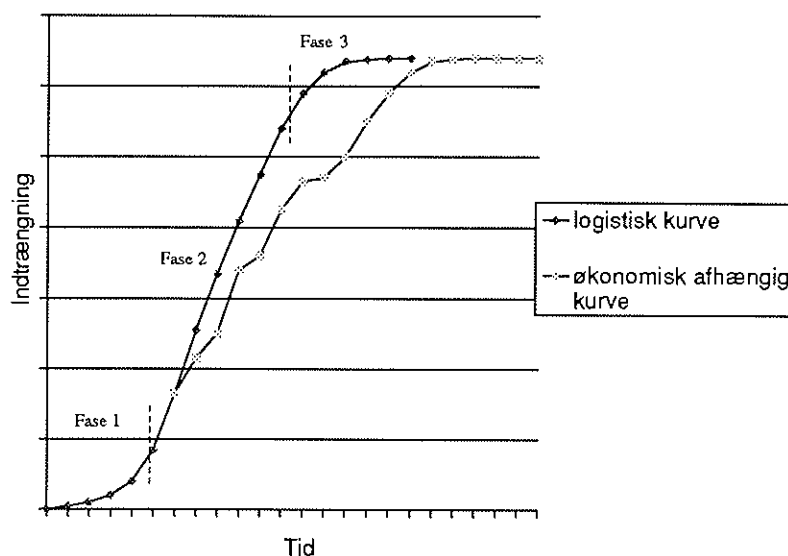
Som det fremgår af ovennævnte vil såvel anvendelsen af apparaterne som deres energieffektivitet ofte være helt eller delvist eksogent givet i apparatmodulet. En væsentlig del af modellen bliver derfor den specifikke opsplitning på apparattyper og i særdeleshed bestemmelsen af apparatbestanden. Udviklingen i bestanden af et apparat gennemgår normalt tre faser:

a) *introduktionsfasen*. Den fase, hvor det nye apparat introduceres på markedet. Tidspunktet for introduktionen vil hovedsageligt være teknologisk bestemt (hvornår er produktet "modent"), samt bestemt af markedsvilkår (hvornår er det opportunt at introducere et nyt produkt).

b) *indtrængningsfasen*. Det nye produkt er slået an på markedet. Efter en introduktionsmæssig hurtig vækst i salget er produktet nu inde i en stabil udvikling.

c) *mætningsfasen*. Produktet er ved at være "gammelt" på markedet og på vej ind i en fase, hvor kun de "træge" husstande endnu ikke har anskaffet det. Mætningspunktet vil naturligvis være forskelligt for de enkelte apparater. Eksempelvis kan det forventes, at hver husstand vil have et køleskab i hjemmet, men nok ikke meget mere end det. Omvendt kan hver husstand godt tænkes at have 2, 3 eller flere fjernsyn. For en vaskemaskine vil det afgørende typisk være at have adgang til at anvende en - i bebyggelser med fællesvaskerier vil beboerne ikke anskaffe vaskemaskine, hvorfor mætningen for dette apparat typisk vil være under 100%.

Figur 5.3 illustrerer de tre faser af bestandsudviklingen for et typisk husholdningsapparat.



**Figur 5.3 De tre faser af bestandsudviklingen for et typisk husholdningsapparat**

I en bottom-up model vil bestandsudviklingen ofte være bestemt af et specifikt funktionsudtryk, eksempelvis en gompertz- eller en logistisk funktion, som giver den karakteristiske S-kurve. En logistisk funktion er specificeret ved:

$$B_t = L / (1 + e^{-(a+b)})$$

hvor  $B$  = Bestanden af apparatet (i fysiske enheder)

$L$  = mætningspunktet

$a$  og  $b$  er koefficienter, der bestemmer kurvens form.

$t$  = tidsindexet

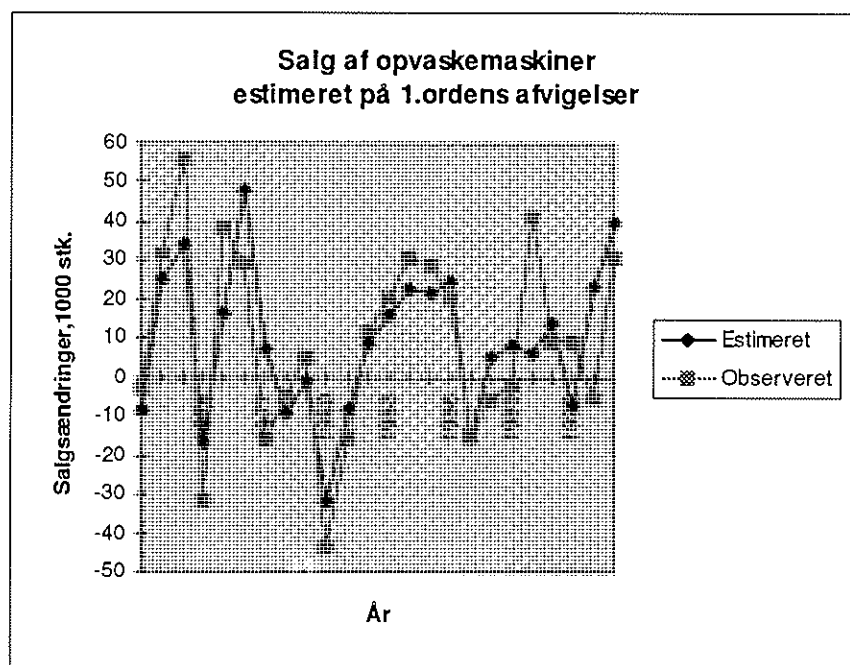
Såfremt der eksisterer data for bestandsudviklingen er det således muligt at bestemme  $a$  og  $b$  koefficienterne ved estimation. Hvis ikke hele forløbet af S-kurven er kendt (hvilket sjældent vil være tilfældet og i givet fald vil det endvidere have begrænset interesse at bestemme koefficienterne), skal mætningspunktet  $L$  gives eksogent. Denne vil normalt blive bestemt ud fra forbrugerundersøgelser.

Som det fremgår af figur 5.3 vil funktioner som de ovenfor nævnte normalt betyde at indtrængningen i fase 2 er tilnærmelsesvis lineær. Dette betyder implicit, at enten

1) er salget af apparatet, og dermed bestandsudviklingen, uafhængigt af den økonomiske udvikling, eller

2) at der bagved ovennævnte funktionstyper er en antagelse om en jævn økonomisk udvikling, eksempelvis i BNP eller det private konsum.

Figur 5.4 viser en estimation på 1. ordensdifferentier af salget af opvaskemaskiner relateret til konsumgruppen “varige forbrugsgoder”. Som det fremgår af figuren synes der her at være en rimelig tæt relation mellem den økonomiske udvikling i forbrugsgruppen og antallet af solgte opvaskemaskiner, og dermed indirekte en økonomisk indflydelse på bestanden af dette apparat. For visse apparater kan der derfor være god grund til at forsøge at koble de simple S-kurve funktioner til økonomiske parametre. Det vil vi komme nærmere ind på i næste afsnit, der beskriver det apparatmodul, der er udviklet til Hybris-modellen.



*Figur 5.4 Estimation af salget af opvaskemaskiner relateret til konsumgruppen “varige forbrugsgoder”.*

### 5.3 Strukturen i apparatmodulet ELMO

Apparaturmodulet ELMO er opbygget som en årgangs-bestandsmodel, hvor de mest betydende elforbrugende apparater i husholdningerne behandles. De apparater, der er med i ELMO, er angivet på Tabel 5.1, inklusiv deres andel af elforbruget i boliger.

**Tabel 5.1: Apparater i ELMO, inklusiv andel af boligernes elforbrug (simuleringsresultat).**

Apparat	Andel af elforbrug % (1994)
Opvaskemaskiner	5
Vaskemaskiner	10
Elkomfurer	19
Køleskabe	9
Frysere	14
Tørretumblere	3
Mikrobølgeovne	1
TV	5
Video	1
PC'ere	1
Varmecirkulation	5
Vandsenge	4
Andet	6
Belysning	17

I ELMO behandles hvert af disse apparater separat, idet den opbyggede simuleringsrutine beregner elforbruget til hvert apparat, som efterfølgende adderes til det samlede husholdnings-elforbrug.

Udgangspunktet i ELMO er salget af apparater. For alle de el-intensive apparater (de 6 førstnævnte i Tabel 5.1) er der estimeret en sammenhæng mellem det statistisk opgjorte årlige salg og ADAM-forbrugsgruppe "varige goder", jvf. ligning 5.1.

$$S_i^t = \alpha_i + \beta_i V^t \quad (5.1)$$

hvor  $S_i^t$  = salget af apparat  $i$  i år  $t$  (opgjort i fysiske enheder)

$V^t$  = varige goder i år  $t$ , opgjort i faste priser

$\alpha_i, \beta_i$  = estimerede parametre for apparat  $i$ .

Efterfølgende bestemmes den årgangsopdelte bestand for de enkelte apparater, idet

$$B_i^{t,s} = k * S_i^s * (1 - N_i^{(t-s)}) \quad (5.2)$$

$$B_i^t = \sum_{s=1}^t B_i^{t,s} \quad (5.3)$$

$$\text{og} \quad N_i = f(a, b) \quad (5.4)$$

hvor  $B_i^{t,s}$  = den del af salget i år  $s$  af apparat  $i$ , der er tilbage i år  $t$  (dvs. *ikke* er skrottet i år  $t$ )

$N_i$  = akkumuleret hyppighed for apparat  $i$ , idet apparaternes livsforløb er antaget at følge en normalfordeling

$B_i^t$  = den summerede bestand af apparat  $i$  år  $t$

$a, b$  = apparaternes gennemsnitlige levetid og standardafvigelsen på denne, idet apparaternes livsforløb er antaget at følge en normalfordeling ( $N$ )

$k$  = salgskorrektionsfaktor, da salgsstatistikken kun dækker ca. 85-95% af det samlede salg.

For de enkelte energi-intensive apparater eksisterer en bestandsstatistik for hvert år tilbage til 1974 (Danmarks Statistiks Omnibusundersøgelser). Med udgangspunkt i salgsstatistikken og bestandsstatistikken anvendes en search metode til simultant at bestemme parametrene  $k$ ,  $a$  og  $b$  i ligning 5.2-5.4, idet de kvadratiske afvigelser fra den estimerede til den aktuelle bestand minimeres.

For de ikke-energiintensive apparater anvendes en (ikke estimeret) indtrængningskurve (S-kurve, jvf. afsnit 5.2) til bestemmelse af den såkaldte dækningsgrad, dvs. hvor stor en andel af husstandene der er i besiddelse af det pågældende apparat. Med en given udvikling i antallet af husstande er det herefter muligt at finde bestande af apparater, og ved antagelse af, at apparaternes livsforløb følger en normalfordeling (med givet gennemsnitlig levetid og standardafvigelse på denne) er det muligt at bestemme den årgangsopdelte bestand. Modellen for ikke-energiintensive apparater kommer således til at se ud som følger:

$$H^t = c + d * BF^t \quad (5.5)$$

$$D_i^t = g(t, c, f) \quad (5.6)$$

$$B_i^t = D_i^t * H^t \quad (5.7)$$

$$B_i^{t,s} = h(B_i^t, N_i(a, b)) \quad (5.8)$$

hvor

$H^t$  = antallet af husstande i år  $t$

$BF^t$  = befolkningen år  $t$

$c, d$  = parametre, der fastlægger husstandsudviklingen ud fra befolkningsudviklingen

- $D'_i$  = dækningsgraden år  $t$  for apparat  $i$ , dvs. hvor stor en andel af husstandene der har det pågældende apparat
- $e, f$  = parametre, der bestemmer indtrængningskurven for apparater
- $h$  = funktionssammenhæng mellem den samlede bestand og den årsopdelte bestand, givet at livsforløbet for de enkelte årgange af apparaterne er antaget at følge en normelfordeling med exogen specificeret gennemsnitlig levetid (a) og standardafvigelsen for denne (b).

Sammenhængen mellem antal husstande og befolkningen (5.5) er estimeret, men kan også specificeres eksogent i modellen ( $c = 0$ ,  $d$  = husstandskvotienten (dvs. antal personer i husstanden)). Dækningsgraden kan bestemmes ud fra en logistisk funktion givet parametre  $e$  og  $f$  (5.6, se afsnit 5.2), men er i en række tilfælde exogent specificeret blot givet mætningspunktet.

Med eksogent givne gennemsnitlige levetider for apparaterne (a) og standardafvigelse på disse (b) i (5.8) kan de årgangsbestemte bestande beregnes. Hermed opnås samme årgangsopdelte bestandsstruktur for de ikke-energiintensive som for de energiintensive apparater og den efterfølgende del af modellen bliver derfor den samme i de to tilfælde.

I fremskrivningerne bestemmes ligeledes dækningsgraden for elintensive apparater:

$$D'_i = B'_i / H' \quad (5.9)$$

idet denne bruges som check-parameter ved vurdering af bestandsudviklingen i de enkelte beregninger. Eksempelvis er det ikke sandsynligt, at hver husstand får mere end en vaskemaskine, hvorimod dækningsgraden for fryser og tv-apparater let kan blive over 1.

For herefter at kunne beregne elforbruget til bestanden af hvert enkelt apparat er det nødvendigt at specificere et specifikt elforbrug for anvendelse af apparatet, samt en årlig anvendelsesfrekvens (anvendelseshyppighed).

Det specifikke elforbrug fastlægges som et margintalt forbrug, dvs. for hver enkelt årgang af apparatet, ud fra tekniske oplysninger om de enkelte apparater. I forbindelse med fremskrivningerne antages på tilsvarende vis udviklingen i det specifikke forbrug ud fra ekspertskøn. På historiske data er beregnet variationen i det specifikke elforbrug, og denne variation er indlagt i modellen for herigennem at kunne beregne konsekvensen på elforbruget af indførelse af apparat-normer<sup>1</sup>.

Anvendelsesfrekvensen for apparaterne er primært baseret på forbrugerundersøgelser og specificeret som en årlig anvendelse. I nogle få tilfælde er der indført en prisfølsomhed på anvendelsen (vaskemaskiner, opvaskemaskiner, tørretumblere og belysning). For hovedparten af apparaterne er anvendelsen ikke påvirkelig af ændringer i elprisen - dette gælder i udpræget grad for køleskabe og fryser.

Beregning af apparaternes samlede elforbrug kommer herefter til at se ud som følger:

<sup>1</sup> Variationen baseret på historiske data er p.t. kun indlagt for fryser og køleskabe. For øvrige elintensive apparater er antaget en tilsvarende fordeling - når data er tilgængelige for disse vil empirisk korrekte variationer blive indlagt. For ikke-elintensive apparater er der ikke indlagt nogen variation (jvf. afsnit 5).

$$E_i^t = A_i^t * \sum_{s=1}^t B_i^{t,s} * SF_i^s \quad (5.10)$$

$$E^t = \sum_{i=1}^m E_i^t \quad (5.11)$$

hvor

$E_i^t$  = elforbruget år  $t$  for bestanden af apparat  $i$

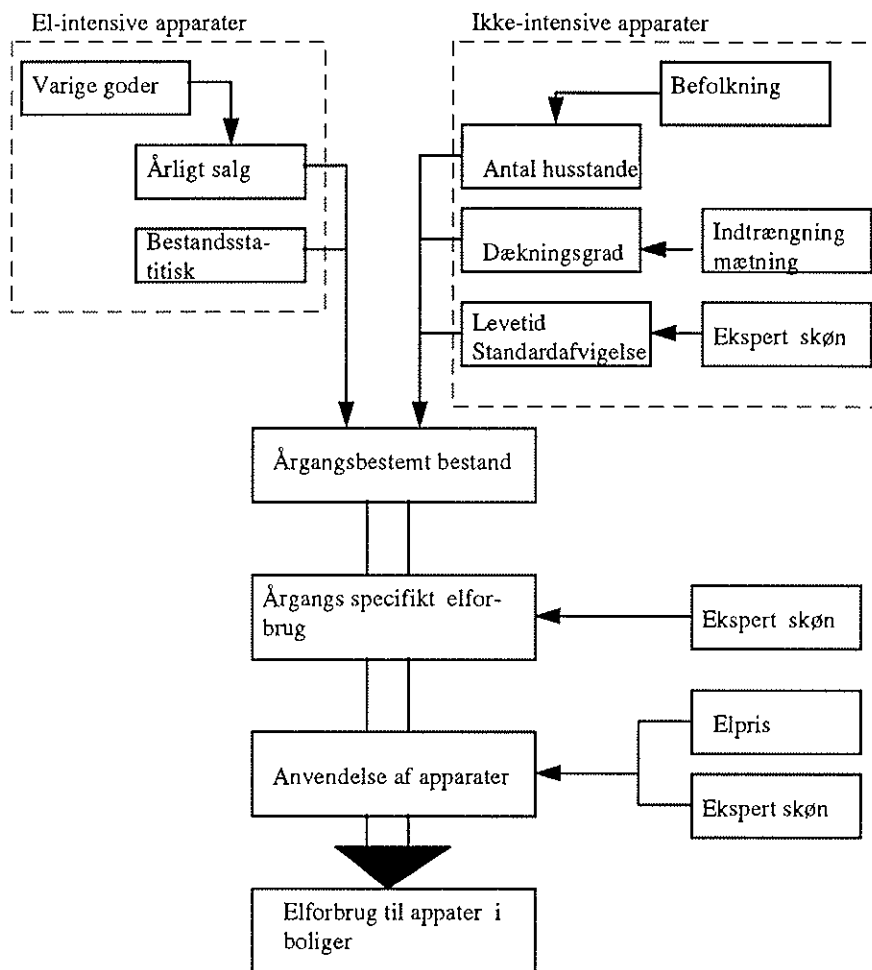
$A_i^t$  = anvendelse af apparat  $i$  i år  $t$

$SF_i^s$  = det marginale specifikke forbrug (årgangsbestemt forbrug) til apparat  $i$   
for årgang  $s$

$E^t$  = det samlede elforbrug til apparater år  $t$ .

Elforbruget beregnes således for hver enkelt apparatbestand i det givne år og summeres til det samlede forbrug. Anvendelsen af apparaterne følger ikke de enkelte årgange, men følger det givne år ( $t$ ). Anvendelsesfrekvensen kan ændre sig over årene, enten som følge af prisændringer (for de prisfølsomme apparater), eller som følge af en exogen specificeret anvendelsesændring.

## ELMO



**Figur 5.5: Strukturen i ELMO.**

Figur 5.5 opsummerer strukturen i ELMO-modellen. Øverst er vist de to typer af apparater - elintensive og ikke-intensive - som med forskellige forudsætninger begge fører frem til den årgangsbestemte bestand af apparater. Efterfølgende tilføjes det årgangsspecifikke elforbrug samt anvendelsen af apparatet, hvorefter det er muligt at beregne elforbruget for bestanden af de forskellige apparater. Til sidst summeres til det samlede elforbrug i husholdningerne. Det bemærkes, at elvarme kan beregnes i ELMO, men i relation til ADAM bestemmes denne del af forbruget i varmemodulet (jvf. kapitel 6).

En del af de i Figur 5.5 viste input-variable til ELMO kommer fra ADAM-modellen. Denne del er nærmere beskrevet i det efterfølgende afsnit 5.4. Øvrige input-variable specificeres exogent til modellen.

I afsnit 5.4-5.8 vil dele af ELMO blive nærmere beskrevet. I afsnit 5.9 gives der eksempler på model-resultater.



## 5.4 Modulets relationer til ADAM

Det samlede private forbrug bestemmes i ADAM-modellen i én enkelt relation. Det således bestemte forbrug fordeles herefter på 11 forbrugskomponenter, hvoraf 8 fordeles i et lineært udgiftssystem. Tabel 5.2 angiver de forbrugskomponenter, der anvendes i ADAM.

*Tabel 5.2: Forbrugskomponenter i ADAM (kilde: ADAM - en model af dansk økonomi, 1991).*

Forbrugskomponenter	Andel af forbrug: 1988
Fødevarer	0.16
Nydelsesmidler	0.07
Øvrige ikke-varige varer	0.12
Brændsel	0.06
Transport	0.13
Varige varer	0.08
Tjenester	0.20
Turistrejser	0.06
Boligbenyttelse	0.18
Bilkøb	0.04
Benzin og olie til køretøjer	0.03
Kollektiv transport	0.04

De 8 førstnævnte forbrugskomponenter i Tabel 5.2 bestemmes af det lineære udgiftssystem. De resterende bestemmes uafhængigt, idet dog bilkøb, benzin og olie til køretøjer samt kollektiv transport er en underopdeling af transportkomponenten i udgiftssystemet.

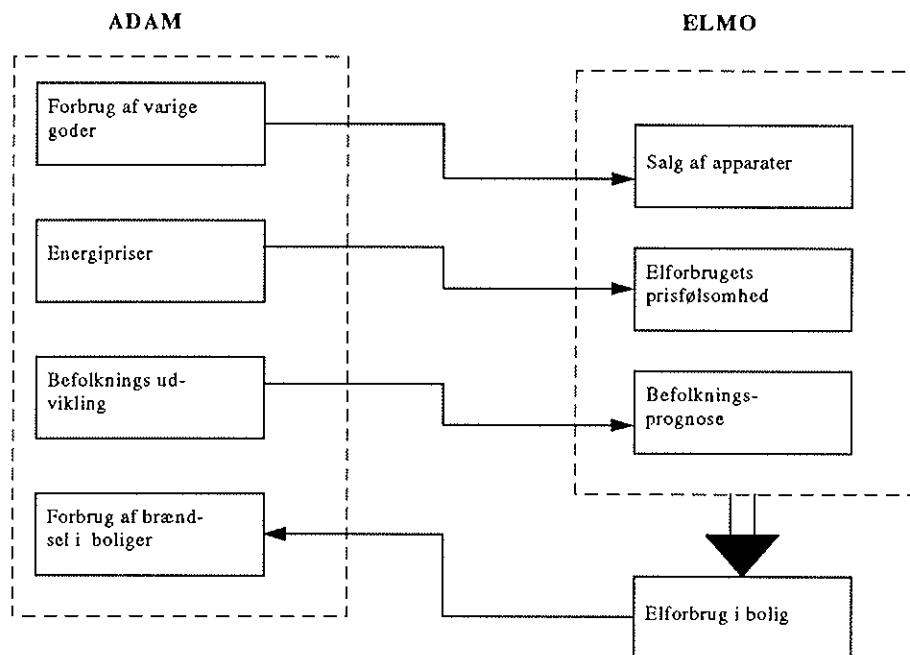
De relevante forbrugskomponenter i forhold til apparatmodulet er:

- brændsel, der omfatter forbruget af el og varme
- varige varer, dvs. diverse apparater o.l. til brug i husholdningerne.

Figur 5.6 viser, hvorledes apparatmodulet er relateret til ADAM. Input-variablene fra ADAM udgør:

- forbruget af varige goder, der anvendes som forklarede variabel ved estimation af salget af apparater
- elprisen, der indgår som forklarende variabel ved bestemmelse af prisernes betydning for anvendelse af apparaterne

- befolkningsprognose, der udgør startpunktet for bestemmelse af udviklingen i antal husstande.



**Figur 5.6: ELMO's relation til ADAM**

Output'et til ADAM er det i ELMO bestemte elforbrug til apparater og belysning. Dette elforbrug erstatter eldelen i brændselskomponenten i ADAM's forbrugssystem (hvorledes brændselskomponenten er opsplittet på el og varme er beskrevet i kapitel 6). Det summerede el- og varmeforbrug (opgjort i løbende priser), som kommer fra Hybris og erstatter det private brændselsforbrug i ADAM, vil sandsynligvis ikke være det samme som oprindeligt bestemt i ADAM's udgiftssystem. Derfor justeres ADAM's privatforbrug af brændsel, så det bliver overensstemmende med el- og varmeforbruget fra Hybris, hvorefter det opståede residual fordeles på ADAM's øvrige forbrugskomponenter følgende det lineære udgiftssystem. Herved sikres konsistens mellem det samlede privatforbrug som bestemt i ADAM, elforbruget som bestemt i ELMO og summen af de 11 underkomponenter i ADAM's forbrugssystem.

Sammenhængen mellem forbrugskomponenten "varige goder" og den elintensive del af apparatsalget i ELMO bestemmes som nævnt ved estimation (jvf. afsnit 5.3). Dette betyder, at en del af apparatsalget i ELMO følger udviklingen i ADAM's varige goder. "Varige goder" i ADAM består dog ikke udelukkende af apparater som hårde hvidevarer o.l. En del af forbrugsgruppen udgøres af møbler, tæpper, sejl både m.v. I ELMO antages det implicit, at en ændring i forbrugskomponenten "varige goder" også vil medføre ændringer i salget af elforbrugende apparater, hvilket dog ikke behøver at være tilfældet, da ændringen i princippet udelukkende kan berøre eksempelvis salget af møbler.

## 5.5 Estimation af økonomisk afhængige relationer

Som nævnt i afsnit 5.3 er salget af de energimæssigt mest betydende apparater relateret til ADAM forbrugsgruppen "varige goder". Salgsrelationerne er primært estimeret på grundlag af en meget enkel specifikation:

$$S_t = \alpha + \beta * V_t$$

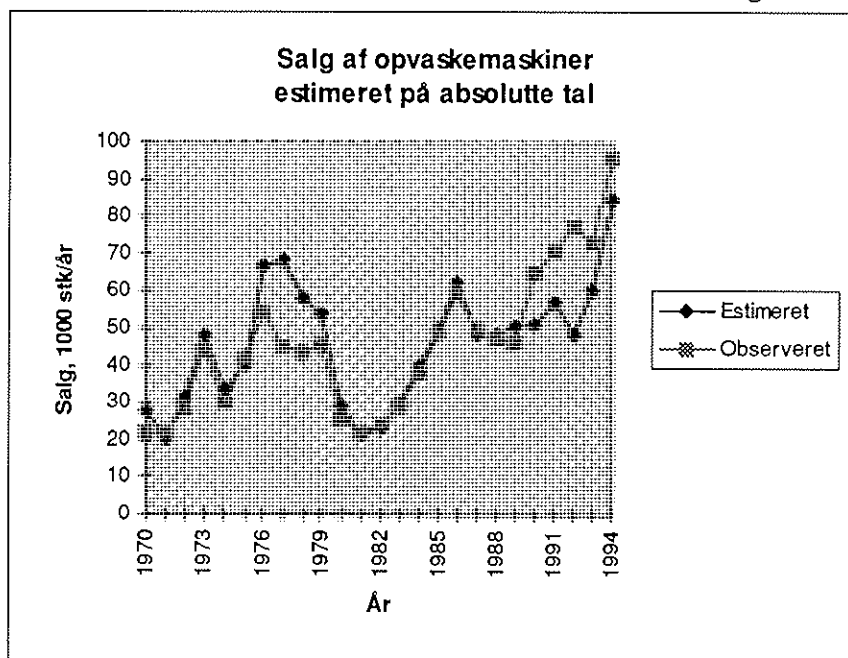
hvor

$S_t$  = salg af apparatet i år  $t$  (opgjort i fysiske enheder)

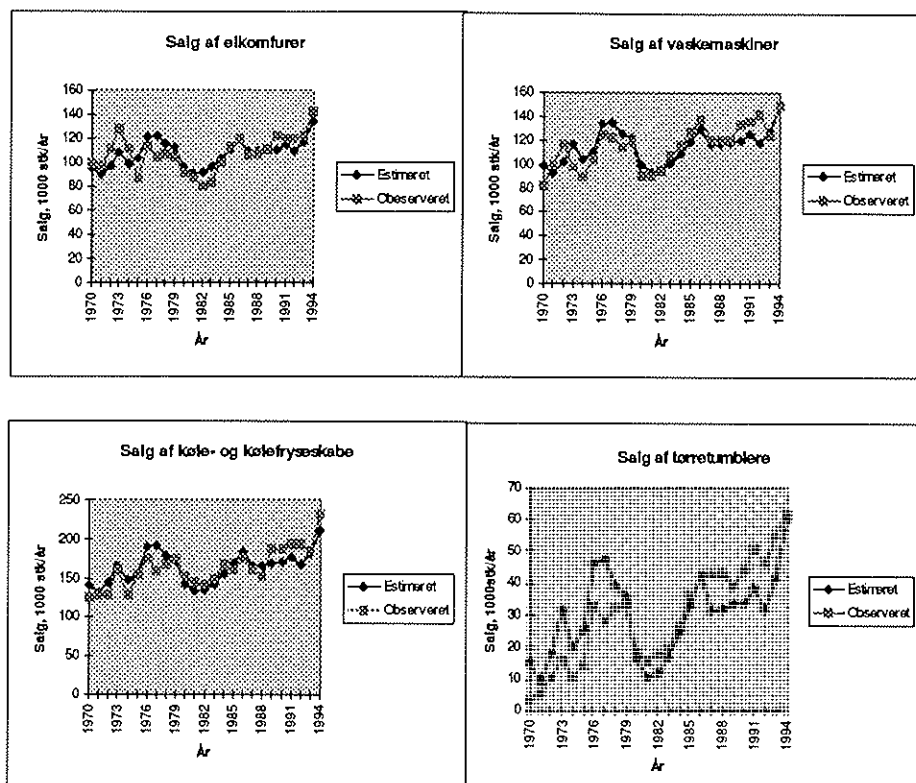
$V_t$  = ADAM forbrugsgruppen "varige goder" i år  $t$  (mill. 1980-kr.).

Seks apparater er estimeret på denne måde: opvaskemaskiner, vaskemaskiner, tørretumblere, elkomfur, køle-/kølefryseskabe og fryser. Generelt gælder det, at disse estimationer er udført på data, der primært stammer fra apparatemes såkaldte indtrængningsfase, jvf afsnit 5.2. Relationen til ADAM, der medfører at økonomiske faktorer påvirker apparatsalget og dermed bestandudviklingen, betyder således at udviklingen i apparatbestanden ikke vil være tilnærmelsesvis lineær i denne fase, men vil fluktuere afhængigt af den økonomiske udvikling, jvf den stiplede linie i figur 5.3.

Figur 5.7 viser estimationsresultaterne for opvaskemaskiner. Som det fremgår af figuren synes relationen at give en rimelig forklaring - med ganske få undtagelser estimeres vendepunkterne korrekt. Forklaringsgraden ( $R^2$ ) er ikke overvældende høj - 0.72, men med så simpel en relation må det vurderes at være rimeligt. Det har været overvejet at inddrage andre forklarende variable i relationen, men grundet manglen på pålidelige statistiske prisoplysninger for apparater har det ikke været muligt at anvende eksempelvis en variabel for relative priser eller et udtryk for user-cost. Et fremtidigt arbejde på ELMO kan bl.a. omfatte anvendelse af bedre forklarende variable i salgsrelationerne.



Figur 5.7: Salg af opvaskemaskiner - observerede tal og estimerede resultater på absolute tal.



*Figur 5.8: Historisk simulering for salget af energi-intensive apparater. Observerede tal sammenholdt med estimerede resultater baseret på absolutte størrelser.*

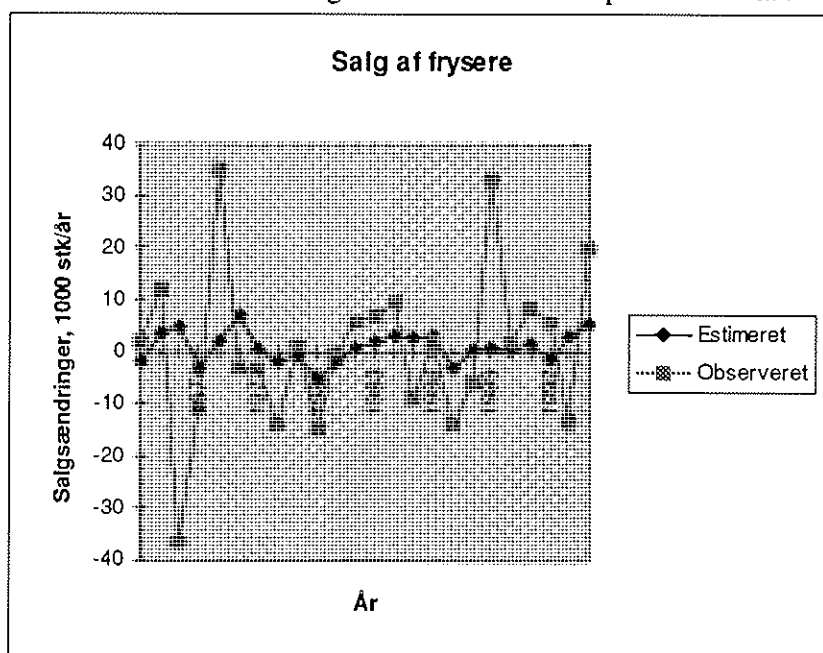
Med undtagelse af frydere, er estimationerne for de øvrige energiintensive apparater stort set samstemmende med resultaterne for opvaskemaskiner. Figur 5.8 viser de historiske simuleringer, hvor den konstaterede udvikling sammenholdes med de estimerede. Også for disse apparater er der anvendt en specifikation på absolutte tal.

Som det fremgår af Figur 5.8 er springsevnen rimelig for de estimerede relationer. Tabel 5.3 viser de estimerede elasticiteter samt forklaringsgraden for de enkelte apparater. Det bør bemærkes, at elasticiteten udtrykker sammenhængen mellem ADAM forbrugsgruppen "varige goder" i faste priser og apparatsalget i fysiske enheder. En elasticitet over en, er derfor ikke nødvendigvis ensbetydende med, at apparatet vil udgøre en stigende andel af forbrugsgruppen når denne forøges. Dette vil afhænge af udviklingen i apparatets relative pris - skønsmæssigt vurderes det, at mange elapparater har haft en faldende realpris i de senere år, hvorfor elasticiteten skal være over en for at opretholde apparatets relative andel af forbrugskomponenten.

**Tabel 5.3: Estimerede elasticiteter og forklaringsgrader. For frydere har det ikke været muligt at opnå signifikante estimationer.**

	Elasticitet	Forklaringsgrad $R^2$
Opvaskemaskiner	2.4	0.72
Vaskemaskiner	1.3	0.64
Tørretumbler	2.7	0.64
Elkomfurer	1.1	0.56
Køleskabe	1.2	0.66
Frydere	-	-

Undtagelsen blandt de energi-intensive apparater er frydere. Det har ikke været muligt med nogen specifikation at opnå et statistisk tilfredsstillende estimationsresultat. Figur 5.9 viser den historiske simulering for relationen baseret på absolutte tal.



**Figur 5.9: Historisk simulering for salget af frydere. Observerede tal sammenholdt med estimerede resultater baseret på absolutte størrelser.**

Som det fremgår af Figur 5.9 giver relationen en meget dårlig forklaringsgrad. Det kan således konstateres, at salget af frydere hænger dårligt sammen med udviklingen i ADAM-forbrugsgruppen "varige goder". Udviklingen i salget af frydere er herefter specificeret ad hoc i ELMO, primært følgende en indtrængningskurve som vist i afsnit

5.2. Der er således ingen direkte sammenhæng mellem ADAM-variable og salget af fryserne.

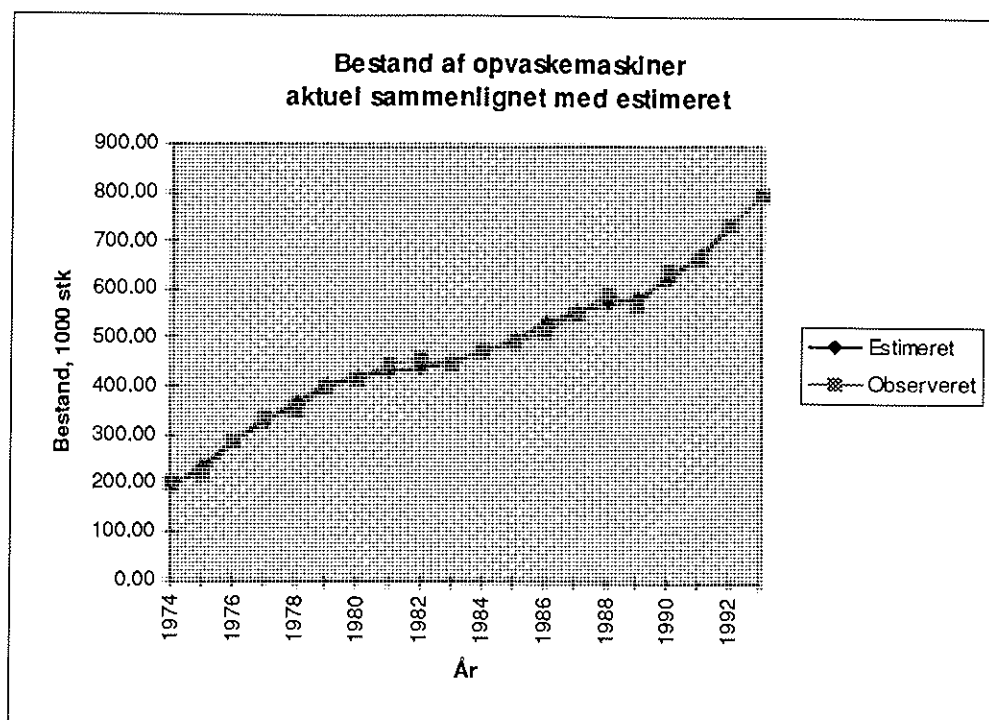
Som nævnt er estimationerne af apparatsalget primært udført på data fra indtrængningsfasen. Dette kan give problemer i fremskrivningerne, idet der ikke er noget der forhindrer, at salget af et apparat stiger så meget, at bestanden af apparater kommer ind i den 3.udviklingsfase: mætningsfasen (se afsnit 5.2). For at forhindre, at salget og dermed bestanden af et apparat stiger til urealistiske højder, er der eksogent specificeret et mætningspunkt for de energiintensive apparater, med en gradvis dæmpning af salget til følge, når bestanden nærmer sig dette mætningspunkt. Når mætningspunktet er nået vil salget kun omfatte nysalget ved et stigende antal husstande, samt det nødvendige udskiftningssalg for at opretholde en konstant dækningsgrad.

## 5.6 Bestandsmodellen i ELMO

Bestandsmodellen i ELMO er opbygget med udgangspunkt i en antagelse om, at apparaternes livsforløb følger en normalfordeling. Som nævnt i afsnit 5.3 eksisterer der salgs- og bestandsdata for de væsentligste el-intensive apparater. De eksisterende salgsdata dækker dog ikke salget fuldt ud, idet statistikken typisk dækker 80-95%. Hvor stor dækningsprocenten for salget er, har det ikke været muligt at få oplyst. Oplysninger vedrørende bestanden dækker i princippet den samlede bestand, men er underlagt en ikke ubetydelig usikkerhed (typisk  $\pm 5\%$ ), idet de er tilvejebragt gennem interviewundersøgelser.

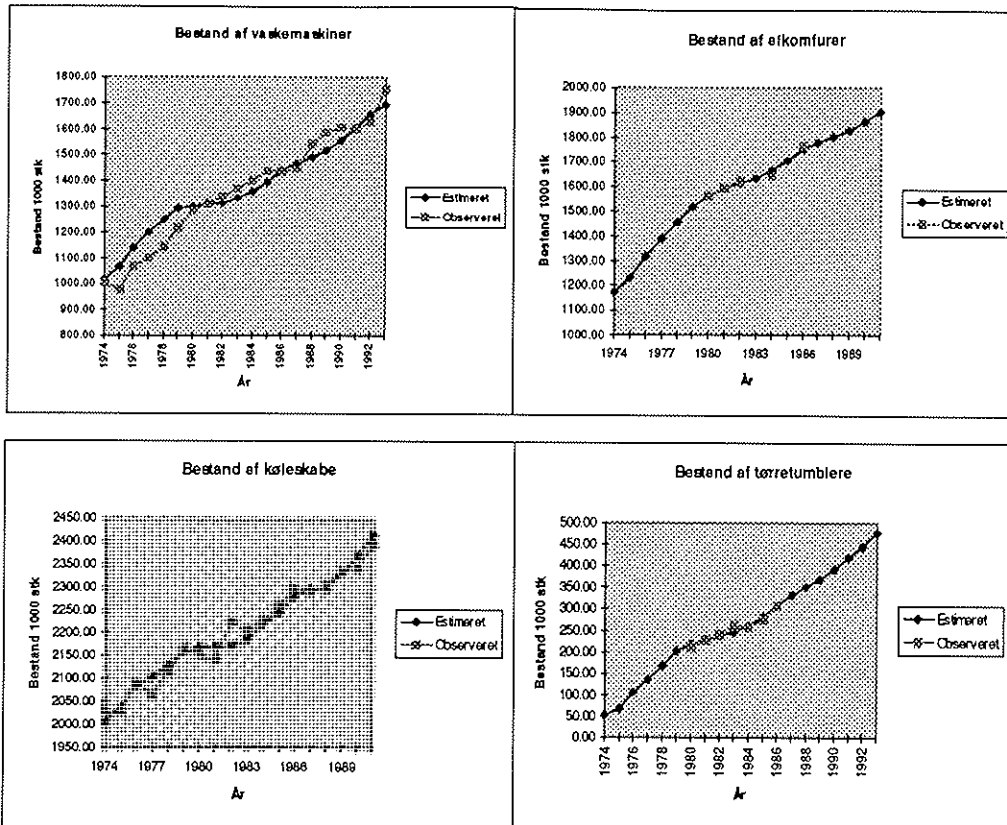
Ved estimation af bestanden bestemmes i alt 3 parametre for de enkelte apparater: en korrektionsfaktor, der opskalerer salget til at dække 100%, en gennemsnitlig levetid for apparatet samt standardafvigelsen for denne under antagelse af, at apparaternes livsforløb følger en normalfordeling. For nogle af apparaterne er korrektionsfaktoren estimeret som en trend, idet dækningsprocenten udvikler sig over tiden. For nærmere detaljer, se afsnit 5.3 ligning 5.2-5.4. På grund af ikke-lineariteter kan der ikke anvendes økonometriske standardmetoder (OLS). Estimationerne udføres derfor med en search metode, idet kvadratafgivelserne fra den aktuelle bestand minimeres. De estimerede parametre anvendes udelukkende i fremskrivningsforløbene, idet de aktuelle bestandstal anvendes i det historiske forløb.

Figur 5.10 sammenligner den faktiske bestand for opvaskemaskiner med det estimerede historiske forløb. Som det fremgår, er der udmærket overensstemmelse mellem de to forløb. Historiske salgstal er anvendt i det simulerede forløb, hvorfor det udelukkende er effekten af de tre parametre: korrektionsfaktor, levetid og standardafvigelse, der indgår i simuleringen. Det bemærkes, at udviklingen i bestanden af opvaskemaskiner ikke følger det lineære indtrængningsforløb, som skitseret i afsnit 5.2, men tværtimod er fluktuerende som følge af den økonomiske udvikling.

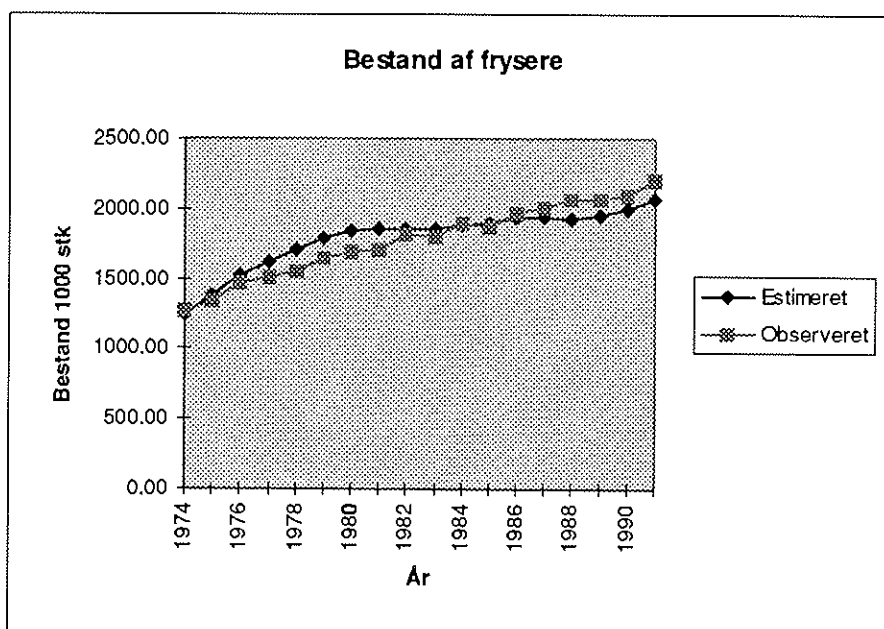


*Figur 5.10: Bestand af opvaskemaskiner - sammenligning af aktuel bestand med simuleret bestand.*

Resultaterne for fire øvrige elintensive apparater er vist i Figur 5.11. For elkomfurer og tørretumblere er der ikke en samlet tidsserie for den aktuelle bestand, hvilket selvfølgelig betyder, at koefficienterne er mere usikkert bestemt. Som for salget er der også, hvad bestanden angår, problemer med fryserne. Det har ikke været muligt at estimere troværdige parametre for korrektion, levetid og standardafvigelse. Derfor er disse tre parametre specificeret ad hoc for fryserne. Resultatet heraf er vist i Figur 5.12.



Figur 5.11: Historisk simulering for bestande af eksisterende apparater. Faktisk bestand sammenholdt med estimeret bestand.



Figur 5.12: Bestanden af frydere. Faktisk bestand sammenholdt med beregnet bestand (exogent specificerende parametre).

Tabel 5.4 viser de estimerede resultater for apparaternes gennemsnitlige levetid og standardafvigelsen på disse.



*Tabel 5.4: Estimerede gennemsnitlige levetider og standardafvigelse for disse for elintensive apparater. For frydere er disse eksogent givet. Endelig er det eksogent specificerede mætningspunkt angivet.*

	Levetid år	Standardafvigelse år	Mætning %
Opvaskemaskiner	13	1.9	85
Vaskemaskiner	12	2.5	90
Tørretumblere	11	3	85
Elkomfurer	17	3.5	95
Køleskabe	13	2.5	120
Frydere	13	3	115

## 5.7 Data anvendt i ELMO

I det efterfølgende gennemgås kort hvilket datagrundlag, der er anvendt i ELMO:

Salg: baseret på hvidevarebranchens statistik, FEHA (som nævnt dækker statistikken ikke 100%).

Bestand og: fra Danmarks statistiks omnibusundersøgelser, suppleret med  
anvendelse specielle omnibus udført for Energistyrelsen

Energiforbrug: fra DEFU-publikationer, suppleret med specifikke undersøgelser og fabrikantdata for de enkelte apparater

Husstands og  
befolkningsprognose: fra Danmarks Statistik

Varige forbrugsgoder: fra ADAM's databank

Elpris: fra modulet for energiforsyningen, jvf. afsnit 5.2.

## 5.8 Instrumenter i ELMO

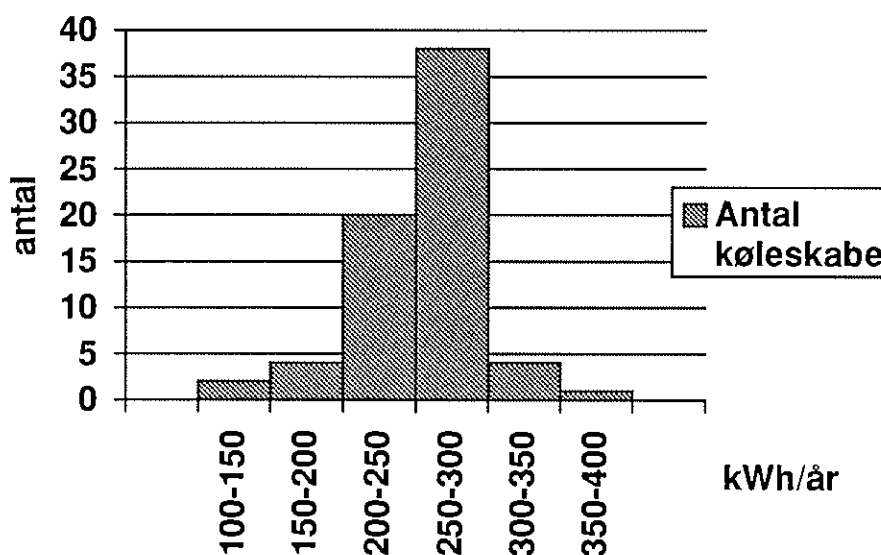
To politisk-økonomiske instrumenter kan direkte anvendes i ELMO:

- normer for elintensive apparater

- ændringer i elprisen, herunder ændringer i afgiftssatser, der påvirker apparaternes anvendelsesadfærd i et vist omfang.

Herudover er det muligt at ændre i diverse teknologiske data, såsom udviklingen i apparaternes eleffektivitet, ændring i apparaternes indtrængningskurve og dermed bestanden af de enkelte apparater o.l. I det efterfølgende beskrives udelukkende normer og ændring i elprisen.

Normer kan indføres ved at afskære forbrugerne fra at købe de energimæssigt dårligste apparater. I modellen er der specificeret en sandsynlighedsfordeling for apparatets specifikke elforbrug. Denne sandsynlighedsfordeling er, hvor det har været muligt, bestemt fra empiriske data. Figur 5.13 viser et histogram for fordelingen på elforbrug for køleskabe på markedet år 1994. Histogrammet er således beregnet ud fra de markedsførte apparaters energiforbrug, men der er *ikke* taget hensyn til de enkelte fabrikaters markedsandel, da det ikke har været muligt at få data herfor. Den samme relative fordeling anvendes ved anvendelse af modellen til fremskrivninger. Der tages højde for, at et apparat kan blive mindre energiforbrugende i fremtiden, men den relative variation omkring dette forbrug vil være den samme. Ved indførelse af normer afskæres den mindst energieffektive del af variationen. Hvis der eksempelvis indføres en norm med maximum forbrug svarende til gennemsnittet i dag, afskæres den dårligste halvdel af apparaterne og det samlede salg fordeles på den resterende relative sandsynlighedsfordeling. Modellen giver mulighed for at stramme normen over årene ved successivt at afskære en større del af variationsintervallet.



*Figur 5.13: Histogram for elforbruget til køleskabe på markedet 1994.*

På nuværende tidspunkt er der pga. manglende data kun indlagt empiriske sandsynlighedsfordelinger for køleskabe og frydere. For de øvrige elintensive apparater er fordelingerne ad hoc specificeret ud fra resultaterne for køleapparaterne. Efterhånden som de nødvendige data bliver til rådighed vil empiriske fordelinger blive indlagt for alle elintensive apparater.

Prisfølsomheden er behandlet ved indførelse af priselasticiteter på anvendelsen for de relevante apparater. Apparater som køleskabe og frydere er stort set upåvirkelige af ændrede elpriser. For andre apparater som vaskeapparater og elkomfurer eksisterer der en

prisfølsomhed, omend den må forventes at være lille. Tabel 5.5 viser de forudsatte priselasticiteter i ELMO. Der er udelukkende tale om kortsigts elasticiteten.

**Tabel 5.5: Forudsatte priselasticiteter i ELMO.**

	Priselasticitet
Opvaskemaskiner	0.2
Vaskemaskiner	0.1
Tørretumblere	0.2
Elkomfurer	0.1

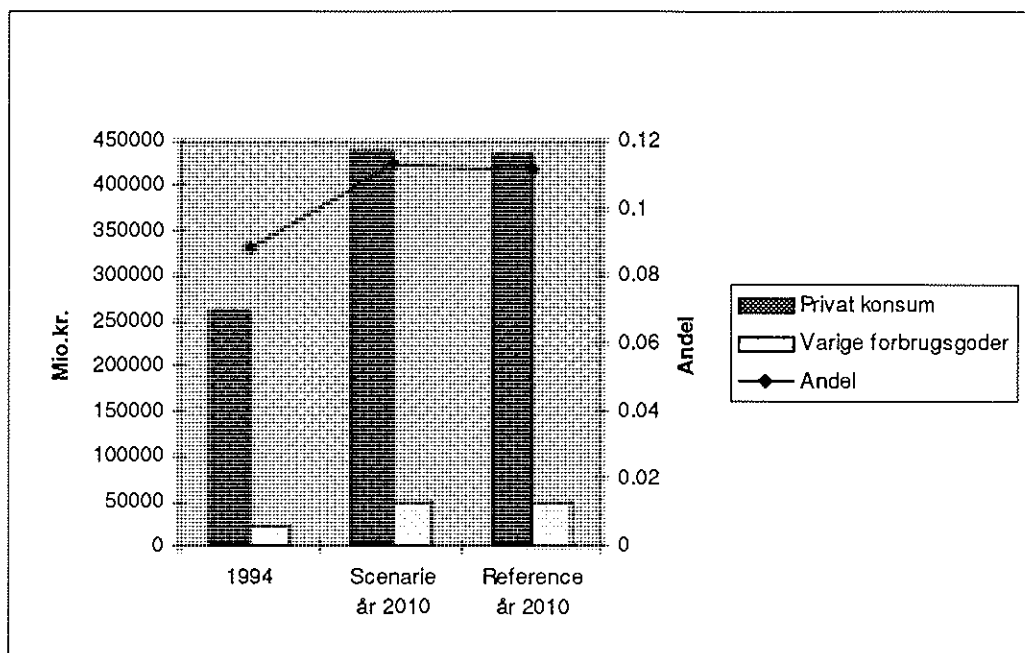
## 5.9 Eksempler på resultater

I forbindelse med sammenkoblingen med ADAM er der opstillet et referenceforløb for husholdningernes elforbrug i ELMO. Alle ændringer i såvel ADAM-forløbet som i forudsætningerne i ELMO beregnes i forhold til denne reference og opstilles i et specielt scenarieforløb, der umiddelbart kan sammenlignes med referencen.

I det efterfølgende vil der blive vist nogle af resultaterne for ELMO i samspil med ADAM. Det her viste referenceforløb for apparatmodulet er det samme som indgår i det samlede referenceforløb for Hybris, jvf. kapitel 7. Scenariet er fra normforløbet (afsnit 8.3) og er i dette afsnit vist i en detaljeringsgrad relevant for ELMO. Kendetegnene for de to forløb er:

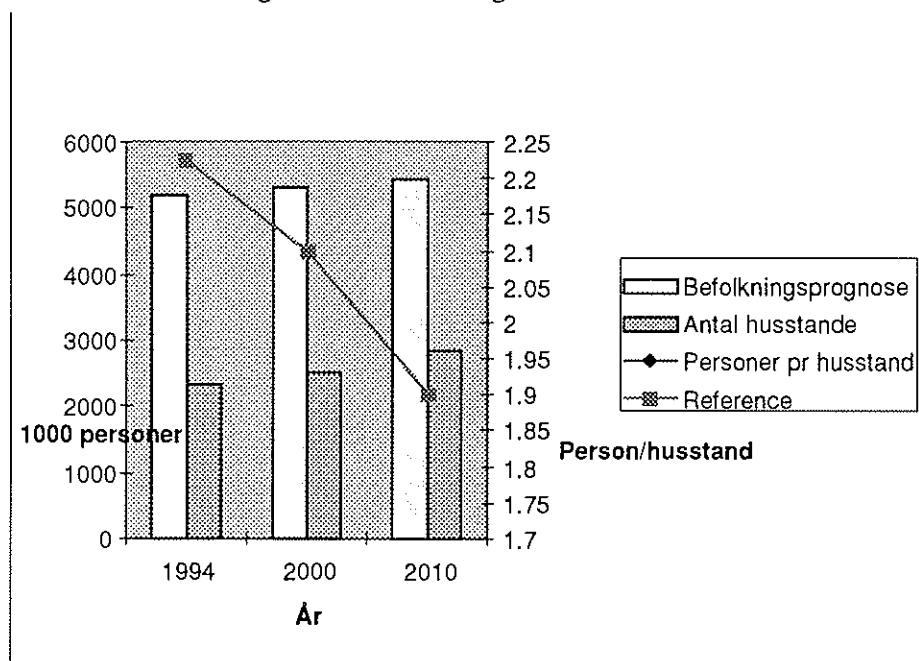
- Referencen tager udgangspunkt i den seneste Finansredegørelse (ADAM-behov FR95), suppleret med et "business as usual" forløb for energisystemet. Eksempelvis følger udviklingen i apparaternes energieffektivitet den historiske trend.
- i scenariet indføres rimeligt skrappe normer på de energiintensive apparater, og den generelle effektivitetsudvikling er øget i forhold til referencen .

Figur 5.14 viser input'et for varige forbrugsgoder som kommer fra ADAM, set i forhold til den samlede forbrugsudvikling. Indførelsen af normer, sammen med de øvrige besparelsetiltag i dette scenarie, medfører at husholdningernes samlede brændselsudgift udgør en mindre andel af det private konsum i forhold til referenceforløbet, hvorfor forbrugsgruppen "varige goder" bliver lidt forøget i scenariet.



**Figur 5.14: Udviklingen i forbrugsgruppen "Varige forbrugsgoder" i reference og scenarieførløb.**

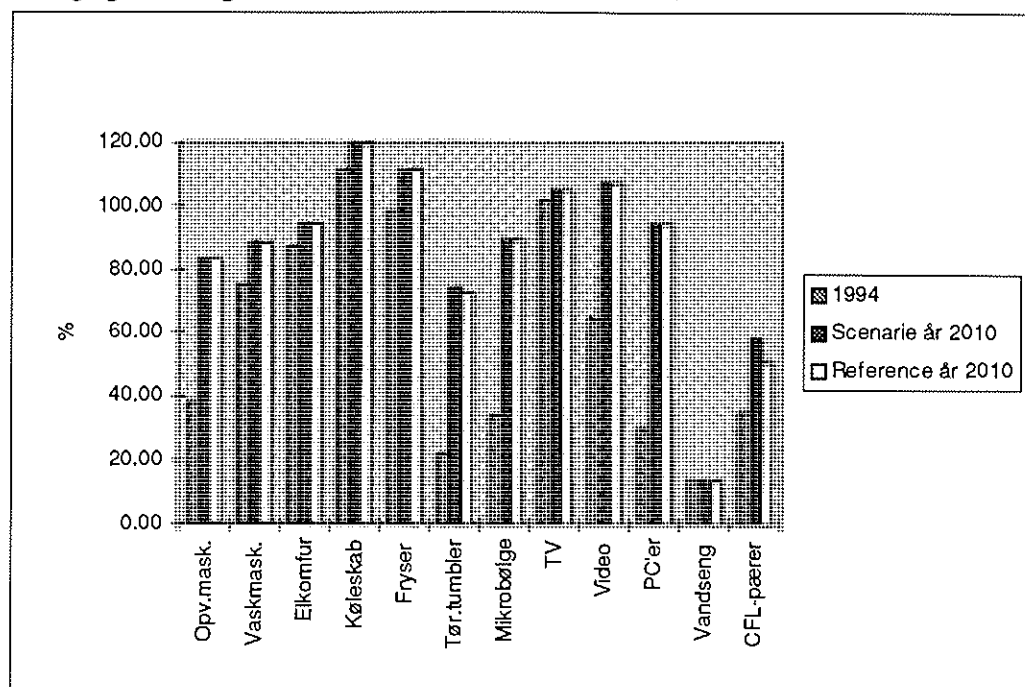
Figur 5.15 viser udviklingen i befolkningen og den afledte udvikling i antallet af husstande. Forudsætningerne i referencen og scenariet er her sammenfaldende.



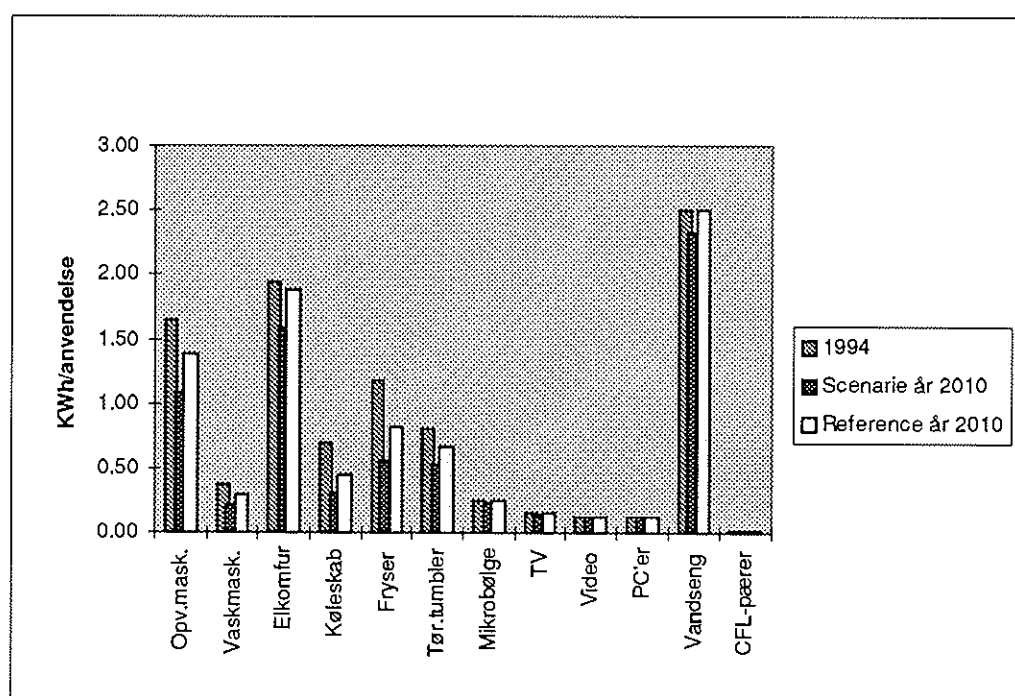
**Figur 5.15: Udvikling i befolkning og antal husstande.**

Udviklingen i dækningsgraden for apparaterne er vist i Figur 5.16 for de to forløb. For de energiintensive apparater bestemmes bestanden (og dermed dækningsgraden) afhængigt af den økonomiske udvikling, hvorfor de økonomiske konjunkturer, som bestemt af ADAM, får ganske stor indflydelse her. Som det fremgår af figuren forøges dækningsgraderne for apparaterne ganske betydeligt i begge forløb i forhold til 1994. Selv om det er vanskeligt at se på figuren, forøges dækningsgraderne lidt i normscenariet

i forhold til referenceforløbet, hvilket som ovenfor nævnt skyldes, at forbrugsgruppen “varige goder” stiger mere i scenariet end i referenceforløbet.



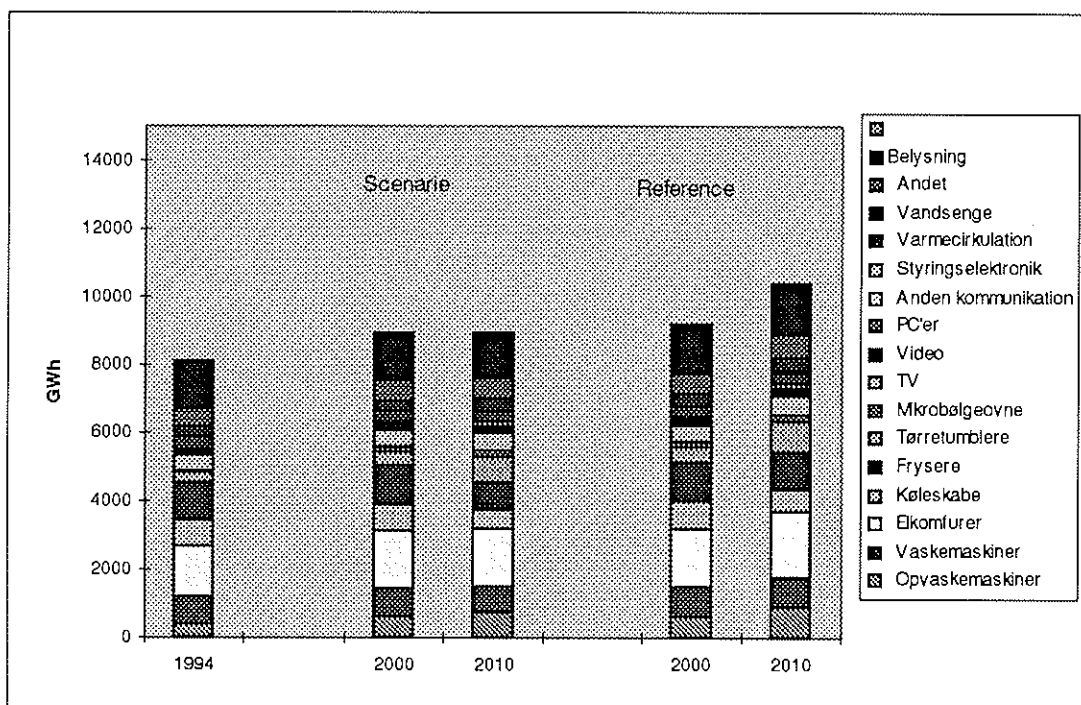
Figur 5.16: Udviklingen i dækningsgraden for apparater.



Figur 5.17: Udviklingen i det specifikke elforbrug.

Figur 5.17 viser udviklingen i det specifikke elforbrug pr. anvendelse af apparaterne. Som det fremgår af figuren slår indførelsen af normer samt den generelt øgede energieffektivitet tydeligt igennem i det årgangsbestemte energiforbrug.

Anvendelseshyppigheden af apparaterne er der kun marginal forskel på i de to forløb, hvorfor disse resultater ikke er rapporteret her. De samlede resultater for elforbruget i husholdninger i forløbene er vist i Figur 5.18. Som det fremgår af denne, reduceres elforbruget i husholdninger betydeligt som følge af indførelse af normer for apparater i forhold til referenceløbet. Specielt slår norm-kravene igennem i år 2010, mens reduktionen er begrænset år 2000, hvilket skyldes at det tager tid før normerne opnår den fulde effekt. I forhold til referencen reduceres apparatforbruget i scenariet med 3% år 2000 og 14% år 2010. De samlede indvirkninger på ADAM-forløbet er nærmere beskrevet i afsnit 8.3 om norm-forløbet.



Figur 5.18: Udviklingen i det samlede elforbrug i boliger.

## 6. Modellering af varmebehovet

### 6.1 Indledning

Nedenfor er der redegjort for datakonstruktion og opbygning af et varmemodul baseret på denne datakonstruktion og en simpel fremskrivning af varmebehov og fordeling på opvarmningsteknologier. Tankegangen er, at husholdningernes brændselsforbrug beskrives bedre ved at tage udgangspunkt i varmebehovet, end ved at tage direkte udgangspunkt i brændselsforbruget. Med varmebehov menes den energimængde der nyttiggøres i husholdningerne - dvs. den energi der anvendes til rumopvarmning og opvarmning af varmt brugsvand.

I afsnit 2 beregnes husholdningernes varmebehov 1966-90 fordelt på 6 opvarmningsteknologier (fjernvarme, el, naturgas, fast brændsel, flydende brændsel og biomasse). Denne beregning består i at konvertere husholdningernes direkte energiforbrug til opvarmningsformål til varmebehov. Dette gøres ved at indregne lokale konverteringstab (tab der sker ude i husholdningerne - f.eks. i et oliefyr) i det direkte energiforbrug. Ved at gøre denne beregning indses det, at den generelt (svagt) faldende trend i det direkte energiforbrug til opvarmningsformål hovedsageligt skyldes brændselssubstitution og teknologiske fremskridt i de lokale teknologier.

I afsnit 3 klimakorrigeres varmebehovet. Ved en klimakorrektion er det væsentligt at vide hvor stor en andel af forbruget, der kan antages at være klimauafhængigt. Der foreslås en metode til at vurdere denne andel, og det skønnes at den klimauafhængige andel er 37% i perioden 1966-90. De videre beregninger foregår under antagelse af konstant klimauafhængig andel i hele perioden. Det vurderes om denne antagelse er rimelig, og der viser sig at være en klart faldende tendens i andelen over tid. Det kunne evt. være en ide at inddrage en estimation af den klimauafhængige andel i en samlet økonometrisk estimation.

I afsnit 4 korrigeres det klimakorrigerede varmebehov for udviklingen i husholdningernes samlede boligareal. Herved fremkommer det såkaldte enhedsforbrug. Enhedsforbruget er et (groft) udtryk for isoleringsgrad og komfort-niveau i boligmassen, og man må forestille sig at det netop er denne størrelse, der er bestemt af indkomst og relative priser. Enhedsforbruget er derfor et godt udgangspunkt for en økonometrisk estimation.

Der findes iflg. Danmarks Statistik og Boligministeriet ikke tal for det samlede boligareal før 1980. Disse konstrueres derfor for perioden 1965-80 ved hjælp af Danmarks Statistiks boligtællinger. På basis af disse tal beregnes enhedsforbruget 1966-90, og det viser sig at enhedsforbruget udviser betydelig stabilitet når energipriserne ikke ændrer sig for meget (undtagen i perioden 1966-70 hvor indtrængning af centralvarme presser enhedsforbruget betydeligt op).

Afsnit 5 beskæftiger sig med den egentlige fremskrivning af energiforbruget både den grundliggende fremskrivning af varmebehov samt fordelingen på teknologierne (brændslemer).

De tre basale tidsserier, der danner basis for fremskrivningen af husholdningernes brændselsforbrug er gengivet nedenfor:

**Tabel 6.1 Varmebehov, klimakorrektionskoefficient og samlet boligareal for perioden 1966-90**

	Varmebehov TJ	Klimakorrek- tionskoef.	Boligareal 1000 m2
1966	99072	0.990	171276
1967	86733	1.077	175358
1968	95858	1.025	179505
1969	112192	0.978	183718
1970	130656	0.965	187997
1971	118502	1.056	192026
1972	123940	1.022	196116
1973	126675	1.035	200195
1974	117126	1.091	204262
1975	121559	1.082	208318
1976	135273	0.980	212509
1977	134456	1.040	216768
1978	140207	1.020	220896
1979	145484	0.964	224990
1980	128567	0.991	228885
1981	115903	0.997	231760
1982	113415	1.030	233491
1983	108396	1.061	234160
1984	109038	1.047	236208
1985	119852	0.953	238421
1986	120649	0.981	242283
1987	125766	0.975	245731
1988	118935	1.073	249138
1989	109209	1.134	249127
1990	105597	1.144	251797

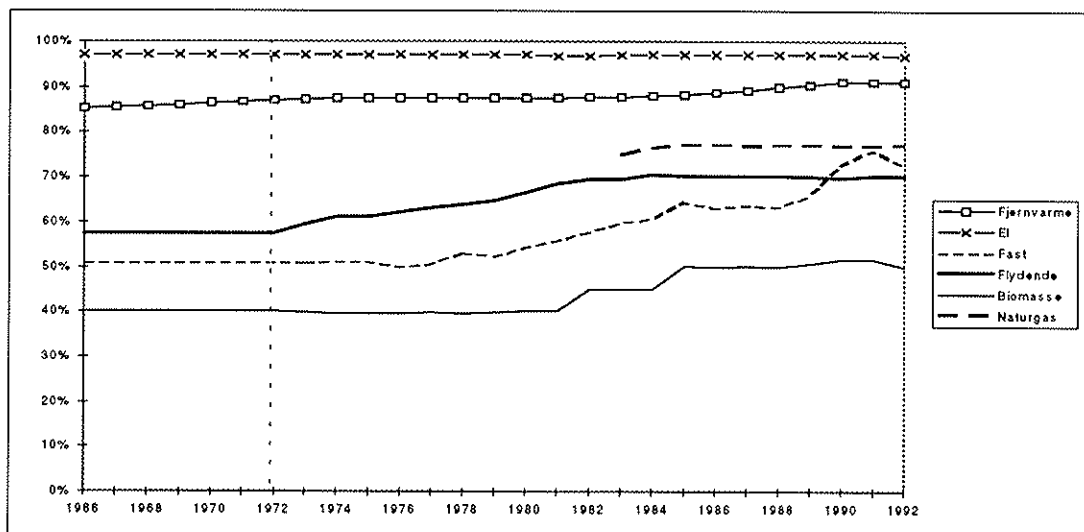
## 6.2 Varmebehovet.

Omregningen fra direkte energiforbrug (også kaldet nettoenergiforbrug) til varmebehov sker ved at tage hensyn til de lokale konverteringstab. Konverteringstabene præsenteres her som årsvirkningsgrader. Data er for både Danmarks Statistiks og Energistyrelsens vedkommende aggregeret til 6 grupper: fjemvarme, el, fast brændsel, flydende brændsel, biomasse og naturgas.

Husholdningernes elforbrug til opvarmningsformål er beregnet ved at kombinere data fra DEFU og Danmarks Statistik. Fra DEFU's apparatmodel haves den andel som husholdningernes elforbrug til opvarmningsformål udgør af husholdningernes samlede elforbrug. Denne andel bruges til at opsplitte Danmarks Statistiks tal for husholdningernes samlede direkte elforbrug.



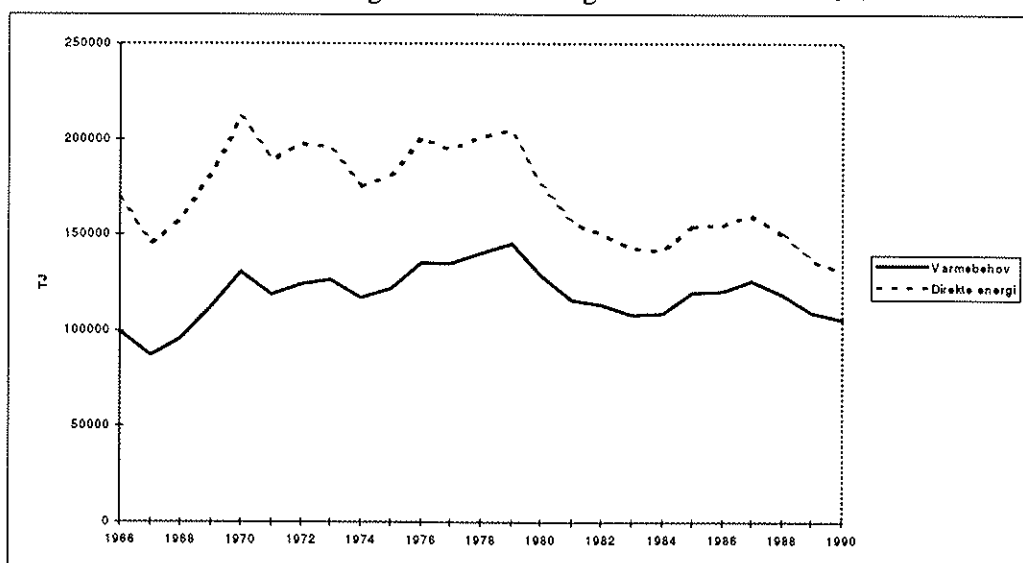
De lokale konverteringstab er vurderet af Energistyrelsen for perioden 1972-1990. De her benyttede årsvirkningsgrader er beregnet ved at sammenholde "endeligt forbrug i alt" og "lokalt konverteringstab" iflg. tabellerne "energiforbrug til opvarmning" i Energistyrelsens energistatistik. For perioden 1966-1971 antages årsvirkningsgraderne at være givet ved værdien i 1972. For fjernvarme er der korrigeret for at Danmarks Statistik i sine beregninger af det direkte forbrug antager at nettabet er 15%, mens Energistyrelsen vurderer dette tab til at være 25% i 70'erne og faldende til 20% i 80'erne.



**Figur 6.1 Lokale årsvirkningsgrader**

Kilde: Tabel D.1. (se bilag)

I Figur 6.2 ses en sammenligning af udviklingen i det direkte energiforbrug og varmebehovet. Den overordnede tendens er at afstanden mellem de to kurver mindskes. Dette skyldes stigende årsvirkningsgrader og substitution fra flydende brændsel med relativ lav årsvirkningsgrad til fjernvarme og naturgas med relativt høje årsvirkningsgrader. Det ses at den faldende tendens fra 1970 i det direkte energiforbrug især kan forklares ved teknologiske fremskridt og brændselssubstitution.

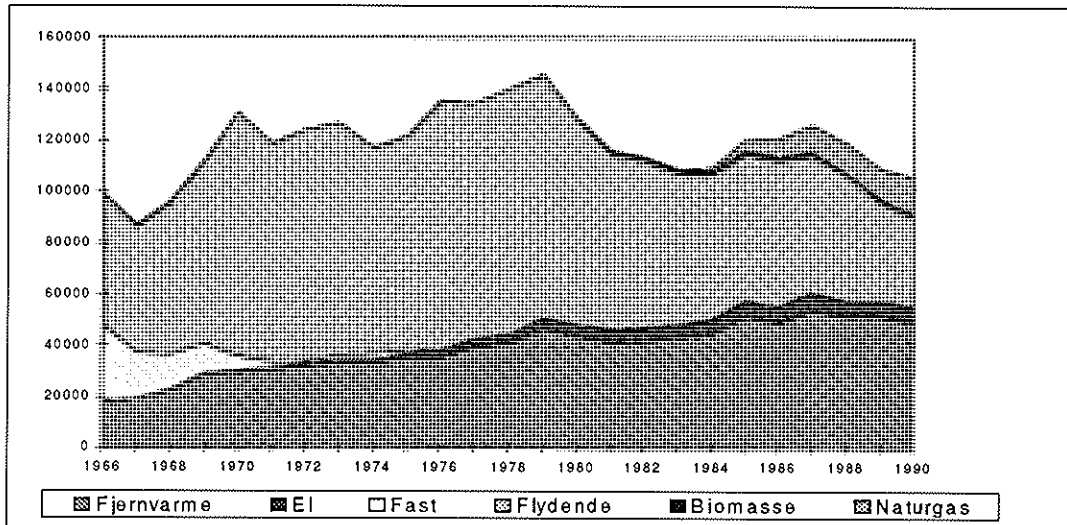


**Figur 6.2 Husholdningernes varmebehov og direkte energiforbrug til opvarmningsformål**

Kilde: Tabel D.2. (se bilag)

Den kraftige stigning i varmebehovet frem til 1970 må antages at skyldes den omfattende indførelse af centralvarme i slutningen af 60'erne. I Figur 6.3 ses det at der frem til 1970 sker en betydelig udfasning af fast brændsel og en betydelig indfasning af fjernvarme og flydende brændsel.

I perioden 1970-79 er der en svagt voksende trend i varmebehovet, afbrudt af et mindre fald under den første energikrise.



Figur 6.3 Varmebehovet fordelt på brændsler (TJ).

Kilde : Tabel D.2. (se bilag)

Efter den anden energikrise sker et betydeligt fald i varmebehovet i perioden 1980-84. Fra 1979 til 1984 falder varmebehovet med 25%. Den væsentligste årsag til dette er naturligvis de kraftige prisstigninger på energi i disse år. En betydelig årsag er sandsynligvis også de gratis varmesyn og betydelige tilskud til energibesparelser der findes i disse år. Sommeren 1983 vurderede boligministeriet at 21% af boligmassen havde modtaget tilskud til energibesparelser og at de samlede statstilskud var oppe på 1 mia. kroner.

### 6.3 Klimakorrektion.

Klimakorrektion foretages typisk på grundlag af to antagelser:

- En konstant andel af det klimakorrigerede forbrug er klimauafhængigt.
- Den klimaafhængige del af forbruget varierer lineært med antallet af graddage.

Det samlede forbrug er givet ved:

$$F_t = F_t^a + F_t^u,$$

hvor  $F_t^a$  er det klimaafhængige forbrug og  $F_t^u$  er det klimauafhængige forbrug. Det klimakorrigerede energiforbrug opstår ved at korrigere den klimaafhængige del:

$$F_t^k = \frac{\bar{g}}{g_t} F_t^a + F_t^u,$$

hvor  $g_t$  er antal graddage i år  $t$  og  $\bar{g}$  er det gennemsnitlige antal graddage. Endelig indebærer det første af ovenstående punkter at :

$$F_t^u = \alpha F_t^k.$$

Indsættes disse 3 ligninger i hinanden fås:

$$F_t^k = \xi_t F_t,$$

hvor korrektionsfaktoren er givet ved

$$\xi_t \equiv \frac{\bar{g}}{(1-\alpha)g_t + \alpha\bar{g}}.$$

Antallet af graddage et givet år er beregnet som :

$$g_t = \sum_{j=1}^{12} n_j (17 - T_t^j),$$

hvor  $n_j$  er antallet af dage i den  $j$ 'te måned og  $T_t^j$  er middeltemperaturen i den  $j$ 'te måned i år  $t$ . Antallet af graddage er et mål for varmebehovet i et rum hvor indendørstemperaturen er 20 grader og udendørstemperaturen er  $T_t^j$ . Det antages at varme fra mennesker, belysning, maskiner osv. bidrager med 3 grader, således at varmesystemet kun skal levere varme til en indendørstemperatur på 17 grader. Da månederne juni, juli og august ikke antages at være fyringssæson, antages det at

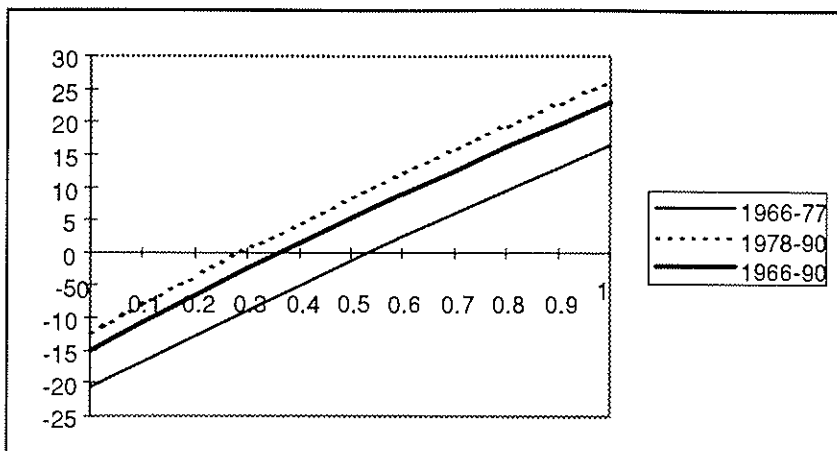
$$n_j = 0 \text{ for } j = 6, 7, 8.$$

Energistyrelsen har beregnet korrektionsfaktoren for perioden 1972-1993. Dette er gjort under antagelsen at  $\alpha = 0,5$  - dvs. at den klimauafhængige andel er 50%. Graddagene er beregnet ud fra DMI's temperaturmålinger på Landbrughøjskolen i København.

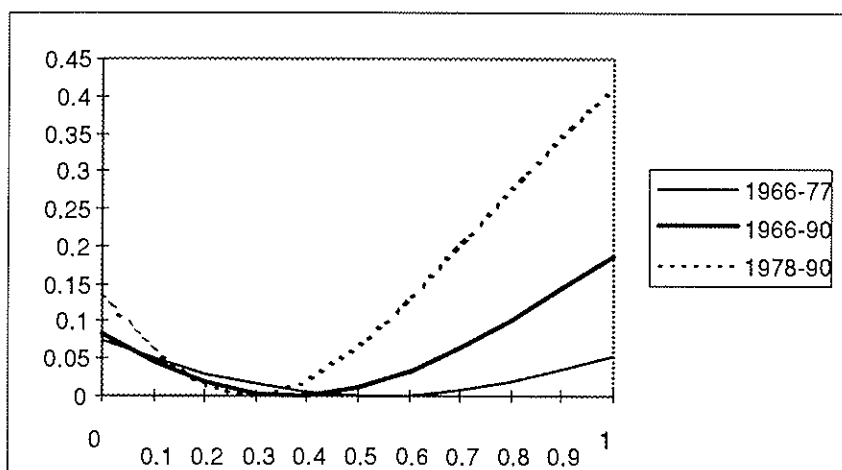
I dette projekt er der medtaget klimakorrektionsfaktorer tilbage til 1966. Disse er beregnet på basis af DMI's middeltemperatur fordelt på måneder for Danmark som helhed. Den klimauafhængige andel  $\alpha$  er vurderet ved en simpel procedure. Ideen bag denne er flg.: principielt bør der ikke være nogen samvariation mellem det *klimakorrigerede forbrug* og antallet af *graddage*. Parameteren  $\alpha$  vælges derfor således at denne samvariation minimeres.

Ved at foretage lineære OLS-estimationer mellem det klimakorrigerede forbrug og antallet af graddage for varierende værdier af  $\alpha$  fås resultatet skitseret i Figur 6.4 og Figur 6.5. For  $\alpha = 0.37$  har det lineære fit hældningen nul (Figur 6.4) og  $R^2$  - værdien minimeres (Figur 6.5) ved en estimation i hele perioden 1966-90. Det antages derfor at den klimauafhængige del af forbruget udgør 37%.

Der er foretaget estimationer for delperioderne 1966-77 og 1978-90. For perioden 1966-77 beregnes den klimauafhængige del til ca. 54%, og i perioden 1978-90 fås ca. 29%. Dette tyder på et betydeligt fald i den klimauafhængige andel i hele perioden. Dette indebærer at den her foretagne klimakorrektionsfaktor er for kraftig i den første del af perioden og ikke kraftig nok i den sidste del af perioden. En klimakorrektionsfaktor under antagelse af faldende klimauafhængig andel ville nok være at foretrække.

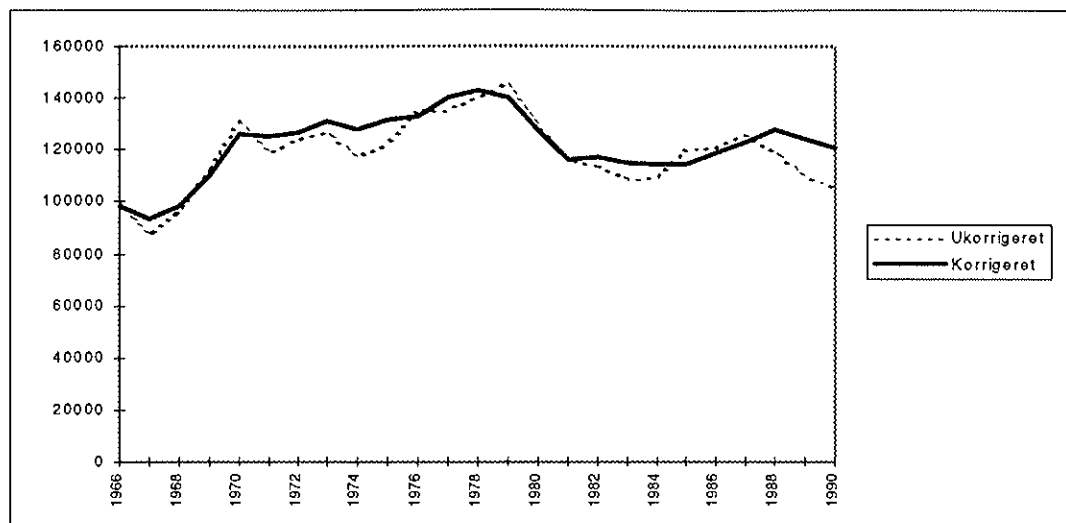


Figur 6.4 Lineære koefficienter



Figur 6.5  $R^2$  - værdier

Det er intuitivt rimeligt at  $\alpha$  vurderes til at være mindre end 0.5 (Energistyrelsens skøn). Den væsentligste del af det klimauafhængige forbrug i husholdningerne er forbruget af varmt brugsvand. Det skønnes som regel at dette forbrug udgør ca. 20% af det samlede forbrug. Den resterende del af det klimauafhængige forbrug kan forklares ved transmissionstab gennem dele af klimaskærmen der ikke er i direkte kontakt med de udendørs omgivelser. Dette er f.eks. gulve og lofter i etageejendomme og gulve i parcelhuse. Et groft skøn over transmissionstabet til gulve i et typisk parcelhus udgør ca. 10% af det samlede varmeforbrug, således at det samlede klimauafhængige forbrug i et parcelhus kan skønnes til at være i størrelsesordenen 30% af det samlede forbrug.



**Figur 6.6 Det klimakorrigerede varmebehov (TJ).**

Kilde : Tabel D.3. (se bilag)

Betragtes det klimakorrigerede varmebehov i Figur 6.6, falder det i øjnene at forbrugsfaldet ved den første energikrise er meget begrænset. Varmebehovet falder med 2.6% i 1974 i forhold til 1973, og stiger faktisk med knapt 1% i forhold til 1972. Det kan her spille ind at den antagne klimauafhængige andel er for lav i den første delperiode (jvf. ovenfor), selv om hovedkonklusionen stadig må være at der var en meget begrænset reaktion på første energikrise.

Den anden energikrise er centralt placeret i perioden, og man kan derfor have større tiltro til klimakorrekturen. Varmebehovet begynder at falde i 1979 (et år før faldet i det ikke klimakorrigerede data) og når et midlertidigt konstant niveau allerede i 1981. Faldet fra 1979 til 1981 er på knapt 18% (mod et fald på ca. 25% i det ukorrigerede data fra 1980 til 1983).

I det ukorrigerede data ses en "pukkel" fra 1984 til 1990. I det korrigerede data er denne pukkel forskudt 1-2 år frem i tiden. Dette skyldes kolde vintre i 1985-87, og meget milde vintre i 1988-1990.

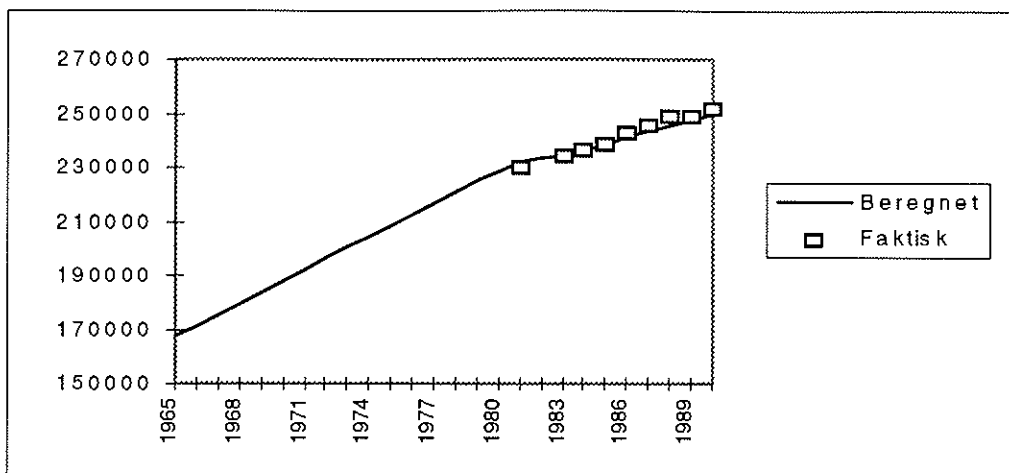
## 6.4 Korrektion for det samlede boligareal

I dette afsnit vurderes udviklingen i det samlede antal  $m^2$  indenfor Danmarks Statistiks boligkategori "egentlige boliger". Fra 1980 er DS's boligtællinger baseret på samkøring af CPR og BBR, og der findes derfor tal for antallet af  $m^2$  fra 1980 og frem. Før 1980 er det nødvendigt at skønne udviklingen, da der i.flg. DS og Boligministeriet ikke er beregnet tal for boligarealet før dette år.

Skønnet over udviklingen i boligarealet før 1980 foretages ved at kombinere antallet af boliger med den gennemsnitlige størrelse af nye bygninger. Det antages, at det samlede boligareal i år  $t$  er givet ved:

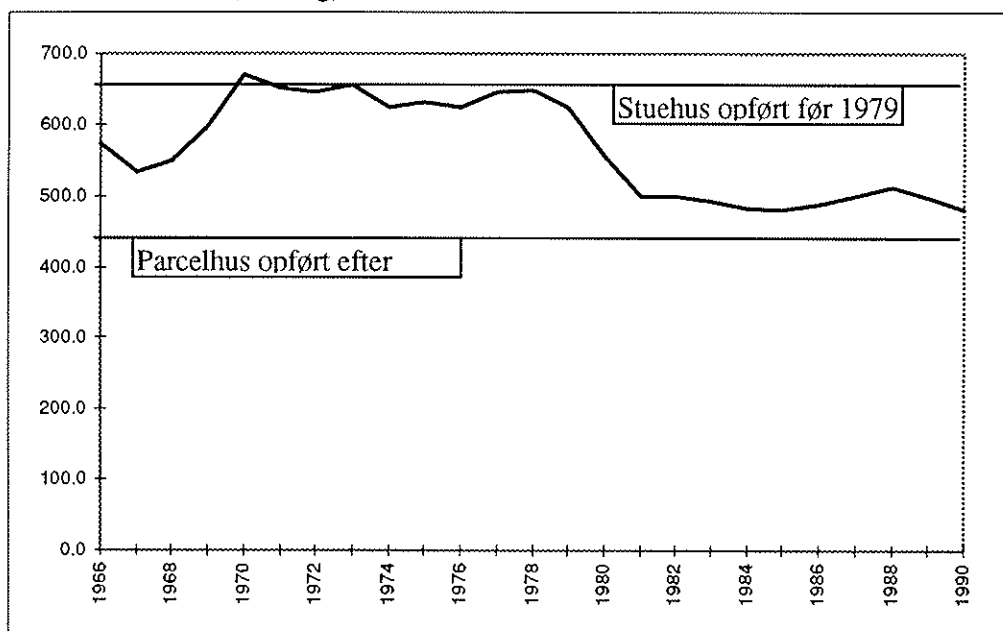
$$B_t = B_{t-1} + \delta_t (A_t - A_{t-1}),$$

hvor  $A_t$  er antal bygninger i år  $t$  og  $\delta_t$  er den gennemsnitlige størrelse af en bygning bygget i år  $t$ . Tal for disse størrelser offentliggøres i Statistiske Efterretninger (Befolkning og valg: boligtællinger) og tiårsoversigterne.  $B_{1966}$  vælges således at  $B_{1984}$  svarer til DS's tal fra de nye boligtællinger.



**Figur 6.7** Boligareal for "egentlige boliger. 1000 m<sup>2</sup>

Kilde : Tabel D.4. (se bilag)



**Figur 6.8** Enhedsforbrug. MJ/m<sup>2</sup>

I Figur 6.7 ses den beregnede udvikling i det samlede boligareal. Frem til 1979 sker der en jævn stigning i boligarealet. Dette skyldes en jævn udvikling i antallet af boliger samtidig med at den gennemsnitlige boligstørrelse er ret konstant frem til 1979. Fra 1979 til 1982 falder den gennemsnitlige størrelse af nye boliger betydeligt, med en stagnation i det samlede boligareal som følge.

I Figur 6.8 ses enhedsforbruget (det klimakorrigerede varmebehov pr. m<sup>2</sup>). Til sammenligning er angivet enhedsforbruget for et parcelhus opført efter 1979 (410 MJ/m<sup>2</sup>) og et stuehus opført før 1979 (640 MJ/m<sup>2</sup>), som det er angivet i baggrundsrapport nr. 1 til energi 2000. Der ses at være en pæn overensstemmelse mellem niveauerne i de to datakilder.

Enhedsforbruget er voksende frem til 1970. Herefter ligger det på et nogenlunde konstant niveau på ca. 650 MJ/m<sup>2</sup> frem til 1978, afbrudt af et mindre fald i 1974-76. Fra 1978 til 1981 sker der et kraftigt fald på ca. 23%. Herefter ligger enhedsforbruget på et nogenlunde konstant niveau på ca. 500 MJ/m<sup>2</sup>.

## 6.5 Fremskrivning

Fremskrivning af varmebehovet kan foretages med udgangspunkt i en simpel fremskrivning af enhedsforbruget og boligarealet uden hensyntagen til prisudviklingen for opvarmningsydelsen. Alternativt kan der med udgangspunkt i en top-down specifikation estimeres en sammenhæng mellem pris og enhedsforbruget, således som det med udgangspunkt i de ovenfor dokumenterede data f.eks. er gjort af DMU i Det Strategiske Miljøforskningsprogram. Ref!

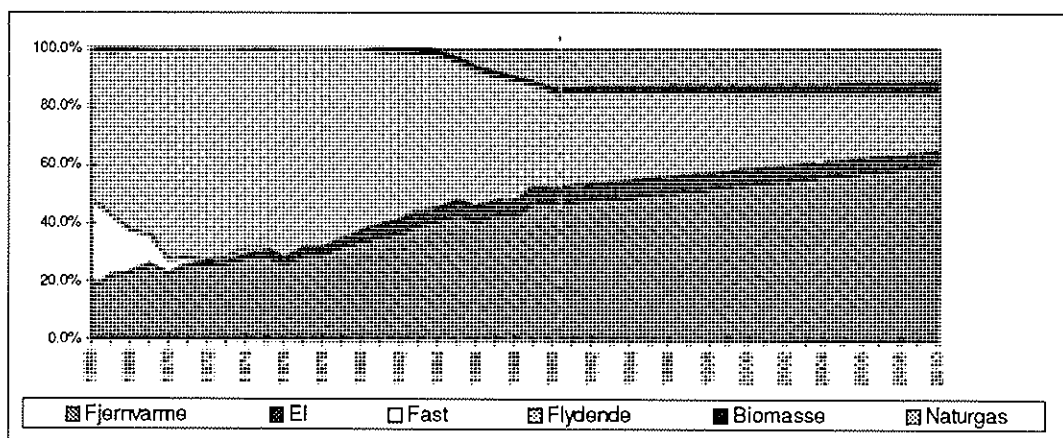
### 6.5.1 Fremskrivning af varmebehovet

Vi har valgt at fremskrive varmebehovet med udgangspunkt i enhedsforbruget, der påvirkes af en lineær effektivitetsudvikling, som kan være udtryk for påvirkning af isoleringsindsatsen eller en forskydning i boligmassens alderssammensætning og isoleringsstandard. Denne sammenhæng er ikke præciseret, men enhedsforbruget fremskrives med en fast eksogen vækstrate.

En estimation af prisudviklingens betydning kan have en tendens til at overvurdere effektiviseringsmulighederne, da en betydelig del af den længerevarende effekt på enhedsforbruget efter den seneste oliepriskrise ikke vil kunne gentages. Enhedsforbrugets fald må have en væsentlig sammenhæng med isoleringsbestræbelserne, hvor forøget isolering ikke vil give tilnærmelsesvist den effekt, som blev opnået først i 80'erne.

Enhedsforbruget vil således blive fremskrevet fra et niveau på 480 MJ/m<sup>2</sup> pr. år og typisk med et årligt fald mellem 0% og 2%.

Fordelingen af varmebehovet på teknologierne fremskrives med udgangspunkt i niveauerne i dag og de målsætninger, der kom til udtryk i Energi 2000.



Figur 6.9 Fordelingsparametre. Historisk og fremskrevet. (%).

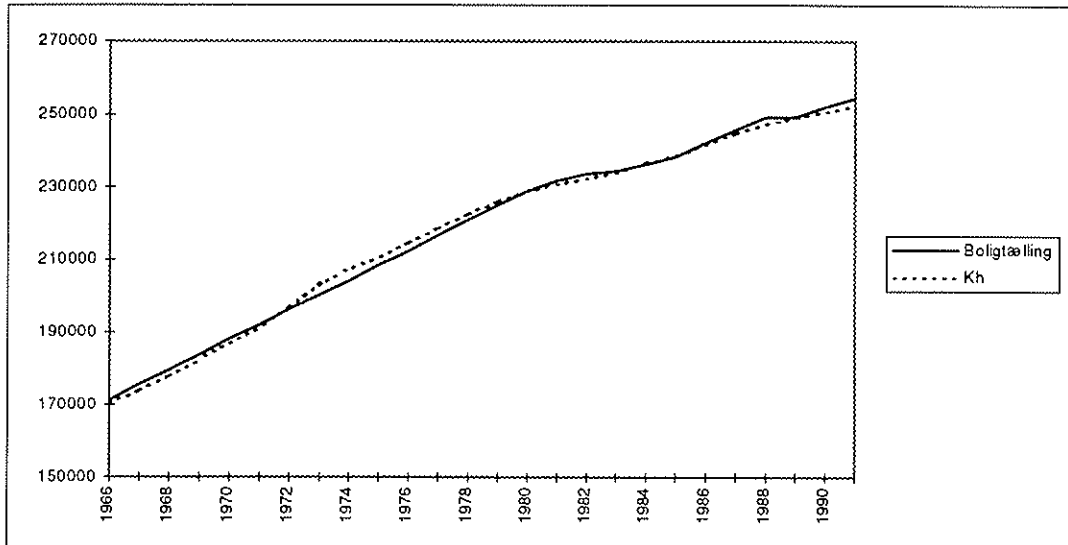
De centrale parametre for en fremskrivning af brændselsforbruget af de enkelte brændsler er fordelingsparametrene ( $\eta_1, \dots, \eta_6$ ), der angiver teknologiernes andele af varmebehovet VB. Fordelingsparametrene kan beregnes på historisk data ved:

$$\eta_{ji} = \frac{x_{ji}}{VB_i}.$$

Fremskrivningen af fordelingsparametrene kan ske ved hjælp af RISØ's model BRUS. I denne model beregnes den fremtidige fordeling af teknologierne på basis af vurderinger

af den fremtidige udvikling i naturgas- og fjernvarmenetforbindelser. Disse vurderinger er af rimelig officiel karakter, idet de udarbejdes i samarbejde med Energistyrelsen. Fremskrivningerne kan ske ved umiddelbart at overtage BRUS's fordeling i f.eks. 2010. Vi opbygger modulet så antagelserne bag de fremtidige fordelingsparametre er angivet. Dette giver mulighed for at lave komparative studier i hvilke varierende netudvidelser på et overordnet niveau analyseres.

I Figur 6.9 ses det simplest mulige eksempel på en fremskrivning, idet de enkelte parametre er fremskrevet lineært til værdier hentet fra BRUS2.



**Figur 6.10 Samlet boligareal. Beregnet fra boligtællinger og ADAM-variablen  $Kh$ . ( $1000 m^2$ ).**

Kendes fordelingsparametrene og det fremtidige boligareal kan varmebehovet fremskrives. Boligarealet kan fremskrives ved at benytte ADAM-variablen  $Kh$ , der er et udtryk for den samlede boligbeholdning målt i faste priser.  $Kh$  er beregnet ved at summere fortidens boliginvesteringer i faste priser under antagelse af en årlig afskrivningsrate. Historisk er der en utrolig fin korrelation mellem det beregnede antal  $m^2$  og  $Kh$ . For perioden 1966-90 kan det estimeres at:

$$B = 0.1990 Kh + 115109.5546, \quad (84.4) \quad (91.7)$$

hvor  $R^2 = 0.997$ .

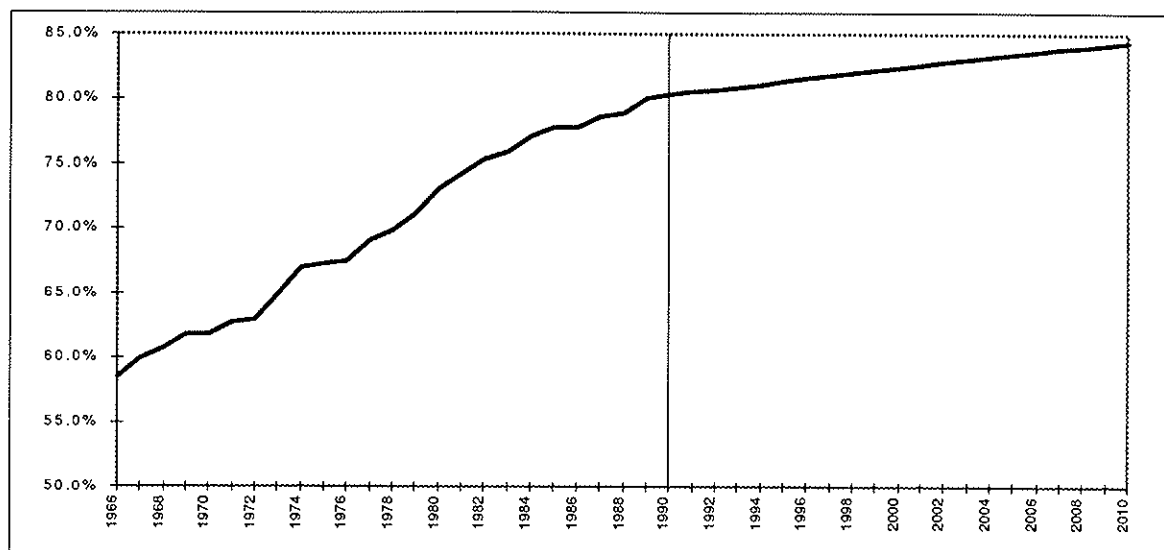
### 6.5.2 Fremskrivning af det direkte energiforbrug (nettoenergiforbrug)

Det fremskrevne varmebehov skal konverteres til direkte energiforbrug for at passe ind i ADAM. Dette gøres ved hjælp af de lokale årsvirkninggrader:

$$DE = \sum_{j=1}^6 \frac{x_j}{\beta_j},$$

hvor  $x_j$  er varmebehovet for den  $j$ 'te teknologi og  $\beta_j$  er årsvirkningsgraden for den  $j$ 'te teknologi. Idet  $x_j = \eta_j VB$  for  $j=1, \dots, 6$ , haves at:





Figur 6.11 Den gennemsnitlige lokale årsvirkningsgrad. Historisk og fremskrevet. (%).

$$DE = \frac{VB}{\beta}, \quad \text{hvor}$$

$$b \equiv \left[ \sum_{j=1}^6 \frac{h_j}{b_j} \right]^{-1}.$$

Parameteren  $\beta$  kan fortolkes som den gennemsnitlige lokale årsvirkningsgrad. De fremtidige værdier af årsvirkningsgraderne kan hentes i BRUS, eller der kan laves alternative fremskrivninger i varmemodulet.

Nettoenergiforbruget skal overføres til ADAM både for summens vedkommende og fordelt på teknologierne. Derfor benyttes de ovenfor beregnede nettoenergiforbrug for de enkelte teknologiers vedkommende efter en omregning til leverancer i ADAM grupperingen, samt det totale nettoenergiforbrug omregnet til faste priser med udgangspunkt i omregningsfaktorer for de 6 teknologier.

## 6.6 Etablering af forbindelse til ADAM

Husholdningernes energiforbrug til opvarmning indgår i ADAM i en forbrugskomponent  $fCe$ , der også omfatter husholdningernes elforbrug til belysning og opvarmning. Til fremskrivninger må således både opvarmningsforbruget som elforbruget fremskrives. Elforbruget fremskrives i et apparatmodul dokumenteret i kap. 5, og energiforbruget til opvarmning fremskrives som ovenfor beskrevet.

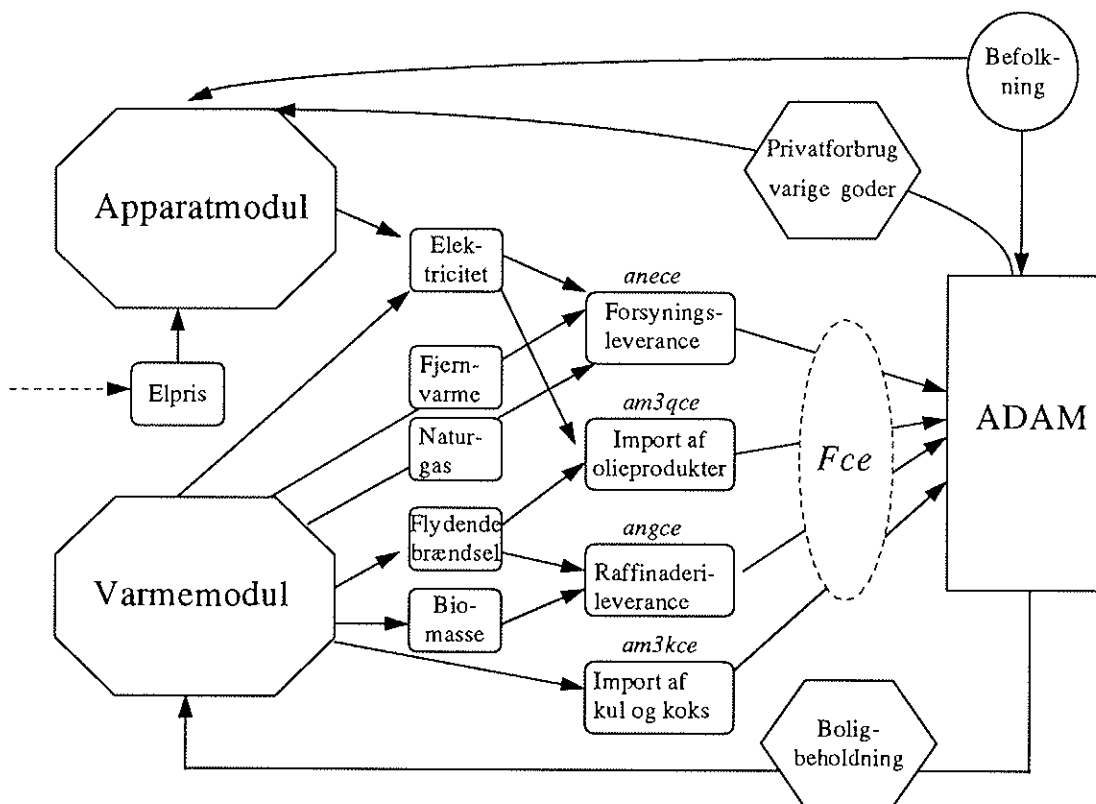
De enkelte energiarter skal herefter transformeres til ADAM fastprisefterspørgsel med enten en pris i 1980 eller en anden relevant omregningsfaktor. Den samlede brændsefterspørgsel i faste priser overføres til ADAM ved hjælp af et justeringsled i ADAM brændselsforbrugsrelationen. Dette kræver imidlertid, at der gennemføres et par iterationer mellem den eksterne bestemmelse af brændselsforbruget og ADAM bestemmelsen af forbruget. Der kunne istedet for iterationerne opstilles en uoverskuelig beregning af jleddet under hensyntagen til alle de øvrige bestemmelser af komponenterne i privatforbruget.

Udover det overordnede brændselsforbrug skal de enkelte komponenter aggregeres, så de svarer til de leverancer, der indgår i ADAM brændselsforbrug i husholdninger. ADAM indeholder en forenkling af leverancestrukturen, således at de små leverancer er lagt oveni andre leverancer. Der indgår dermed kun 5 koefficienter for energileverance til  $fCe$ , som gengivet i tabel 3.1. Af disse leverancer er  $aene$ , leverancen fra udvindingserhvervet nul, idet der dog i 60'erne stadig var leverancer bestående af brunkul.

De 7 komponenter i brændselsforbruget som apparatmodulet og varmemodulet bestemmer skal aggregeres til 4 leverancer i ADAM.

Forsyningsleverance ( $aene$ ):	el fra apparatmodul, elvarme, fjernvarme og naturgas
Import af kul ( $am3kce$ ):	fast brændsel
Import olieprodukter ( $am3qce$ ):	opsplitning af flydende brændsel på import og raffinad, samt el.
Raffinaderier ( $angne$ ):	andel af flydende brændsel samt biomasse

Den overordnede struktur for sammenkoblingen af varmemodul, apparatmodul og ADAM er skitseret i Figur 6.12.



Figur 6.12 Sammenkobling af brændselsmoduler og ADAM

## 6.7 Links til ADAM

Der etableres et antal justeringsled til indlæggelse af de ændrede io-koefficienter i ADAM og den i varmemodulet og apparatmodulet bestemte brændsefterspørgsel.

Den samlede justering af  $fCe$  foretages via justeringsleddet  $jfCe$ , beregnet som

$$jfce = fce^M - \left( \frac{kcue^M}{pce} + \frac{0.013}{pce\ kcu} \right) U \quad (6.1)$$

hvor toptegn  $M$  angiver ADAM variable beregnet i varmemodulet og  $kcue^M$  er beregnet som

$$kcue_t^M = pce_t \left( 0.8814 \frac{fce_{t-1}^M}{U_{t-1}} - \frac{0.0059}{kcu_{t-1} pce_{t-1}} + 0.0038 fros_t - 0.0034 fros_{t-1} \right) \quad (6.2)$$

Det kan være nødvendigt at benytte en beregnet  $kcue$  som ovenfor, hvis korrektionen af  $fce$  er af et betydeligt omfang i forhold til ADAM grundkørslen. Alle variable uden toptegn  $M$  er variable overført fra ADAM.

Med den ovenfor skitserede justering af brændselsforbruget i ADAM opnås i løbet af et par iterationer, at  $fce$  i ADAM opnår den i varmemodulet beregnede størrelse og at de øvrige komponenter i privatforbruget er justeret, så den overordnede bestemmelse af privatforbruget svarer til summen af komponenterne.

De enkelte leverancer til privatforbrug af brændsel skal ligeledes justeres i ADAM. Dette gøres ved en justering af de 4 inputkoefficienter for energi og en justering af afgiftskomponenten.

Forsyningssektoren leverer el, gas og fjernvarme til brændselsforbruget, og der skal derfor ske en sammenvejning af disse 3 efterspørgselskomponenter fra apparatmodul og varmemodul.

Elforbruget fra varmemodul og apparatmodul summeres og omregnes til fastprisefterspørgsel med en faktor på 9.42 TJ/mill. 80 kr. beregnet fra nationalregnskabsmatricerne og energimatricerne. Denne omregningsfaktor er i øvrigt bemærkelsesværdigt stabil i modsætning til nogle af de øvrige omregningsfaktorer.

Imidlertid vil noget af elforbruget leveres som import, og det er derfor nødvendigt at fremskrive denne import af el til privatforbrug af brændsel. Fremskrivningen af denne importkomponent foretages med udgangspunkt i en historisk importkoefficient (gennemsnit af 10 års koefficient: 0.0281). Importkoefficienten fremskrives proportionalt med den samlede elkoefficient. Den indenlandsk leverede el udvikler sig således også proportionalt med det samlede elinput i  $fce$ .

Fjernvarmeforbruget omregnes til faste priser med en faktor på 20.24 TJ/mill. 80 kr. og naturgasefterspørgslen omregnes med en faktor på 14.74 TJ/mill. 80 kr.

De 3 efterspørgselskomponenter i faste priser summeres og udgør bottom-up modulernes bud på forsyningsinput i  $fce$ . Variablen  $nelce$  indeholder både dansk og udenlandsk leverance af el, så elimportkoefficienten fratrækkes  $anece$  koefficienten. Koefficienten for forsyningsinput  $anece$  er eksogen i ADAM, således at denne umiddelbart kan overføres til ADAM.

$$anece = \frac{nelce + nevce + negce}{fce} - amelce \quad (6.3)$$

Elimportkoefficienten bestemt som

$$amelce_t = \frac{\left( \frac{el_t^{VM} + el_t^{AM}}{9.42} \right) \left( \frac{amelce_{95}}{amelce_{95} + anelce_{95}} \right)}{fce_t} \quad (6.4)$$

overføres til beregningerne af efterspørgsel for el, gas og varme, der gennemføres i et PCIM modul. Det samme er tilfældet for koefficienterne for dansk leverance af el (*anelce*), fjernvarme (*anevce*) og naturgas (*anegce*). Disse 3 koefficienter summer til *anece*, og er ligesom denne beregnet ud fra de til fastpris omregnede efterspørgselsstørrelser *nelce*, *nevce* og *negce* delt med den samlede brændselsefterspørgsel *fce*.

Flydende brændsel udgør den anden store brændselskomponent i varmemodulet. Overgangen til ADAM kræver at flydende brændsel opsplittes på leverance fra import *fm3q* og leverance fra raffinaderier *fxng*. Det må nødvendigvis antages, at sammensætningen af flydende brændsler leveret fra de 2 kilder er identiske. Dermed kan den samlede leverance omregnes til en fastpristørrelse fra forbrugsvaren flydende brændsler i nationalregnskabet og en aggregering af energimatricernes bygas, petroleum, fyringsolie, fuel olie og lpg (nettoenergi i J). Omregningsfaktoren er dog ikke stabil, men udviser en svagt faldende trend og udgør i 1991 15.17 TJ/mill 80 kr. Tendensen er dog så svag, at den gennemsnitlige faktor på 15.38 TJ/ mill. 80 kr. for perioden 1966-91 er anvendt.

Leverancen fra raffinaderier er i ADAM io-systemet slået sammen med leverance fra landbrug og leverandører til byggeri mv., hvorfor koefficienten til brug i ADAM antages at skulle beregnes som en sum af biomasse og en andel af flydende brændsel. Der indgår ikke nogen biomasse input i ADAM's brændselsforbrug i husholdninger. Koefficienten fra raffinaderier er beregnet som

$$angce_t = \left( \frac{flydce_t}{15.38 fce_t} \right) \left( \frac{angce_{94} - aace_{94}}{angce_{94} - aace_{94} + am3qce_{94} - amelce_{94}} \right) + aace_t \quad (6.5)$$

idet *aace* er biomassekoefficienten omregnet med en faktor på 15 TJ/mill. 80 kr.

Koefficienten *angce* er endogen i ADAM og der må benyttes et justeringsled

$$jdamgce_t = angce_t - angce_{t-1} \quad (6.6)$$

Justeringsleddet ovenfor fremkommer kun under antagelsen at korrektionsfaktoren *kfmz3q* i relationen for importkoefficient for olie *am3qce* er = 1.

Koefficienten for olieimport er ligeledes endogen, idet der kan indlægges en trend for udviklingen i olieimportens markedsandel, idet den generelle korrektionsfaktor for olieimporten *kfmz3q* f.eks. kan anvendes til at udtrykke at raffinaderierne har en kapacitetsbegrænsning eller at sammensætningen af de olieproduktgrupper er forskellige.

Koefficienten for olieimport opgøres i varmemodulet som

$$am3qce_t = \left( \frac{flydce_t}{15.38 fce_t} \right) \left( \frac{am3qce_{94} - amelce_{94}}{angce_{94} - aace_{94} + am3qce_{94} - amelce_{94}} \right) + amelce_t \quad (6.7)$$

Det tilsvarende justeringsled *jdam3qce* opgøres som

$$jdam3qce_t = am3qce_t - am3qce_{t-1} \quad (6.8)$$

idet det også her antages at korrektionsfaktoren *kfmz3q* er = 1.

Fast brændsel kan leveres fra enten udvindingssektoren eller import af kul og koks. Det antages i overensstemmelse med de seneste nationalregnskabsdata, at leverancen til privatforbrug af brændsel udelukkende stammer fra import af kul og koks *fm3k*. Den til privatforbruget svarende leverancekoefficient *am3kce* er eksogen i ADAM og kan umiddelbart opdateres fra følgende beregnede størrelse.

$$am3kce = \frac{fastce}{44.22 fce} \quad (6.9)$$

Endelig kan der fra varmemodulet foretages en justering af afgiftsindholdet i *fce*. Dette kan være relevant i forbindelse med forskydninger af efterspørgselssammensætning indenfor brændselsforbruget. Eleefterspørgselens andel kunne tænkes at vokse og dermed medføre en forskydning mod større afgiftsindhold. I modsat retning trækker et fald i andelen for flydende brændsel og den tilsvarende stigning i fjernvarme og naturgas. Koefficienten for afgiftsinput beregnes som

$$asvce = \frac{(asvel\ nelce + asveg\ negce + asvflyd\ flydce) + asvtgce\ fce}{fce} \quad (6.10)$$

Hermed er 5 inputkoefficienter og det samlede privatforbrug af brændsel i ADAM bestemt ud fra bottom-up modeller. Desuden er et antal koefficienter på det lidt mere detaljerede niveau bestemt, så det er muligt at beregne efterspørgsel for el, gas og fjernvarme ud fra det samlede privatforbrug af brændsel i ADAM.

## 7. Referenceforløb

Ideen i det her skitserede referenceforløb er at illustrere modelsystemets indhold, hvilke centrale energivariable der fremskrives eksogent i systemet, samt hvad der fremkommer som output af itereringer mellem systemets dele. Referencen benyttes endvidere som basis i de illustrative kørsler, der er gengivet i kapitel 8. Referenceforløbet skal hverken opfattes som nogen prognose eller en konsekvens af en specifik energipolitik.

### 7.1 Grundforudsætninger for økonomisk fremskrivning

I referencen tages udgangspunkt i Finansministeriets fremskrivning til Finansredegørelse 1995. Konkret anvendes ADAM databanken ADAMFR95, som er databanken fra Finansministeriet omplantet til Danmarks Statistiks modelversion.

Den økonomiske fremskrivning er karakteriseret af følgende forhold

- Årlig vækst på knap 3% frem til 2000, hvorefter væksten gradvis når ned på 1½% om året.
- Privatforbrug, investeringer og eksport har hurtigere stigningstakter end BNP, men disse efterspørgselskomponenters stigningstakt falder mod 2-3% årligt i 2015.
- Offentligt forbrug vokser i modsætning hertil kun med omkring 1% om året.
- Beskæftigelsen stiger med omkring 1% om året frem til 2005, hvorefter stigningstakten aftager og udviklingen ender med et lille årligt fald i 2015.
- Ledigheden aftager gennem hele perioden og ender på et niveau omkring 120.000 ledige i 2015.
- Betalingsbalancen forbedres gennem hele perioden og ender på et overskud på 140 mia. kr. i 2015.

Fremskrivningen i ADAMFR95 er til vores brug blevet tilpasset noget. Først og fremmest er der foretaget en yderligere forlængelse frem til 2022, der er den tidshorisont vi anvender i vores kørsler på det samlede modelsystem. Forlængelsen af fremskrivningen 2016-2022 er foretaget med nogenlunde samme udvikling (vækstrater), som ADAMFR95 ender med i 2015.

Ved denne forlængelse viste der sig en række uhensigtsmæssigheder af modelteknisk art, bl.a. skulle der meget få justeringer til før raffinaderierhervets produktion (*pxng*) blev negativ. For at løse nogle af disse problemer, og da det er nødvendigt at have en eksplicit fremskrivning af energiområdet for at lave konsekvensberegninger, har vi valgt at fremskrive energidelen af ADAM modellen. For de fleste punkter drejer det sig om at fjerne de justeringsled, som er indeholdt i de fleste af energirelationerne i ADAMFR95.

Der foretages bl.a. ændringer for privatforbrug af brændsel, erhvervenes energiefterspørgsel og fordelingen mellem import af olieprodukter og leverance fra raffinaderier.

Energiforbrugsniveauerne for erhvervene er alt for høje i de foreløbige nationalregnskabsår 1992-94, specielt 1993 og 1994. Den seneste ADAM bank indeholder tal for energiforbruget, der er justeret ned i forhold til ADAMFR95, hvorfor vi har valgt at lægge disse lavere niveauer ind i vores ADAM referencekørsel. Tallene for flere af de øvrige energistørrelser er også korrigerede og lagt ind i referencekørselen. Dette medfører at niveauet for energiforbrug er lavere i udgangsåret 1994 end det er tilfældet i Finansministeriets fremskrivning.

På trods heraf må energiforbruget i erhvervene, specielt serviceerhverv og offentlig service stadig vurderes at være for høje i 1993 og 1994. Der er ikke søgt yderligere at korrigere for dette i vores ADAM-referencekørsel. ADAMFR95 indeholder en fremskrivning af erhvervenes energiafgifter, der medfører betydelige stigninger i erhvervenes pris på brændsel. Derimod er udviklingen i de basale energipriser ikke så voldsom. Fremskrivningen af energiafgifter er bibeholdt i vores referenceforløb.

Specielt for forsyningserhvervet indeholder ADAMFR95 en meget hurtig og næsten fuldstændig omlægning bort fra kul og over mod udvindingsproduktion (naturgas) som brændselsinput. Denne udvikling er lagt ind via justeringsled, som nulstilles i vores referencekørsel.

Alle energikorrektionerne i forhold til ADAMFR95 medfører kun meget marginale ændringer af overordnede økonomiske størrelser. Derimod er energiforbruget og specielt sammensætningen af energiforbruget markant anderledes end i ADAMFR95.

ADAMFR95 er på energiområdet karakteriseret af en generel justering, så der opnås en på forhånd fastsat udvikling i energiforbrug og specielt CO<sub>2</sub> emissioner. Vi har i stedet ladet ADAM modellen selv fremskrive energiforbrug mv., inden de ændringer vi foretager fra bottom up modulene introduceres.

## 7.2 Grundforudsætninger på energiområdet

### 7.2.1 Fremskrivning af ADAM relevante størrelser

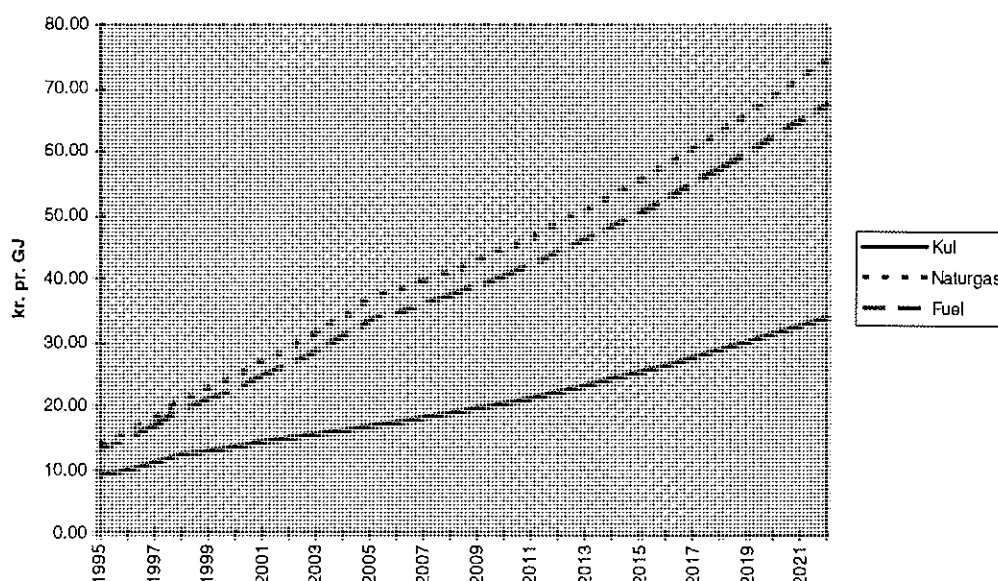
Der fremskrives fra forsyningsmodulet en række størrelser, der indgår mere eller mindre eksogent i ADAM. Det drejer sig om følgende

- energipriser, herunder specielt råoliepris
- energieffektiviteter i erhverv

Energipriserne er i ADAM primært eksogene, og hvis ikke andet antages følger alle energipriser stort set prisudviklingen for råolie (*pm3r*). Energipriserne fremskrives fra forsyningsmodulet ved at opdatere råolieprisen i ADAM, samt at opdatere justeringsled og korrektionsfaktorer for kulpris (*fm3k*), pris på import af forarbejdede olieprodukter (*pm3q*) og udvindingssektorens pris (*pxe*). Udgangspunktet for denne fremskrivning er Energistyrelsens fremskrivning af energipriser til samfundsøkonomiske beregninger (oktober 1995). Prisene opgjort cif. for kul, naturgas og fuelolie anvendes. Fuelolieprisen anvendes både til fremskrivning af forsyningssektorens brændselspris ex transportomkostninger samt til fremskrivning af pris på importerede olieprodukter, der selvfølgelig er en energivare med en meget bred sammensætning (fuel, fyringsolie, benzin, el mv.).

Den konkrete fremskrivning af energipriserne er gengivet i Figur 7.1, der afspejler nogle meget kraftige reale prisstigninger i de førstkomende år frem til 2005, hvorefter energipriserne i reale termer holdes konstant. Bemærk at der i Figur 7.1 er gengivet serier i løbende priser. Fremskrivningen er i overensstemmelse med IEA prognosen, der ligger til grund for Energistyrelsens fremskrivning. Energistyrelsen fremskriver en real energipris, som til vores anvendelse er omregnet til nominelle prisstørrelser baseret på BFI prisindekset.

Brændselspriser 1995-2022



Figur 7.1 Brændselspriser til input i ADAM (cif.), (faktiske priser)

Kilde: Energistyrelsen, Samfundsøkonomiske brændselspriser okt. 1995

Erhvervenes energieffektivitet kan fremskrives i ADAM ved at anvende en række indeks for effektiviteten ( $dtfve_t$ ). Som udgangspunkt har vi valgt at fremskrive alle disse effektiviteter med samme udvikling 1% pr. år. Denne størrelse kan fortolkes som en generel AEEI (autonomous energy efficiency improvement) og denne størrelse ligger i mange internationale modelkørsler et sted mellem  $\frac{1}{2}\%$  og  $1\frac{1}{2}\%$  årligt. De 1% årligt er i niveau med det Energistyrelsen antager som en underliggende tendens.

## 7.2.2 IO-koefficienter for forsyningserhverv i foreløbige nationalregnskabsår

Af hensyn til en generering af efterspørgsel for el, varme og naturgas i ADAM er det nødvendigt at fremskrive udviklingen indenfor forsyningserhvervet. Et udgangspunkt i basisåret 1994 med overensstemmelse mellem ADAM (nationalregnskabsdefinitionen) og Elstatistik fra DEF, Energistatistik mv. kræver en detaljeret opdatering og afstemning af et stort antal input-outputkoefficienter i årene umiddelbart før fremskrivningens start 1995. Specielt er det lidt vanskeligt at håndtere udenrigshandel med el, der ikke optræder eksplicit i ADAM, men i meget høj grad påvirker forsyningserhvervets produktion.

For de foreløbige nationalregnskabsår 1992-94 haves et sæt af koefficienter for forsyningssektorens leverancer til ADAM erhverv og anvendelser. Disse koefficienter kan fordeles på de 3 forsyningserhverv. For de 3 erhverv er der foretaget en fordeling af leverancerne, så totalerne for produktionen i hvert forsyningserhverv stemmer med data fra DEF på elområdet og med Energistyrelsens Energistatistik for varme og naturgasforbrug. Der er for elproduktionen endvidere foretaget en afstemning af indenlandsk efterspørgsel, der nødvendiggør fremskrivning af importkoefficienter for el som en del af importen af olieprodukter mv. ( $fm3q$ ).

Elimporten er i fremskrivningsperioden antaget at vende tilbage til et tidligere gennemsnit for elimportkoefficienten. Elimport fremskrives som gennemsnittet af de seneste 10 års koefficient (1982-1991). Koefficienterne for dansk elleverance må ligeledes justeres i forhold til basisåret 1994, idet elimporten dette år var nærmest nul og den indenlandske leverance derfor meget højere end normalt.



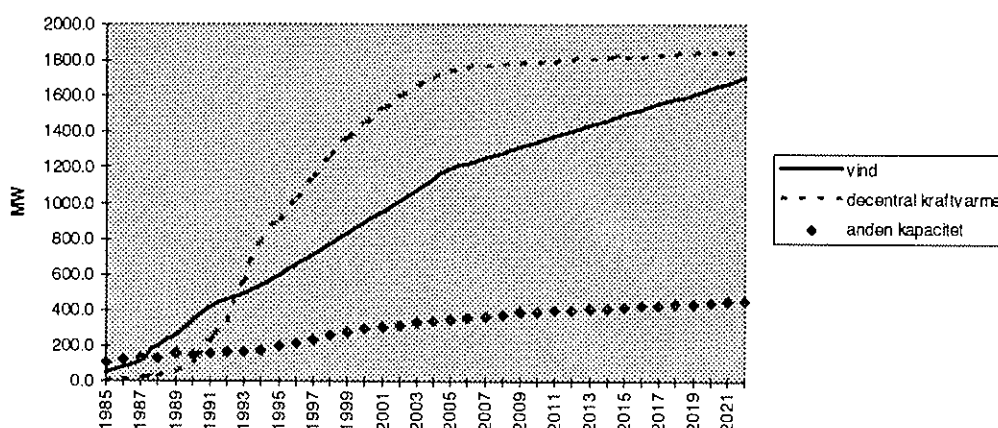
Således må både sættet af dansk leverede elkoefficienter og alle forsyningssektorens koefficienter justeres ned i fremskrivningsperioden. Da de fleste af forsyningssektorens samlede koefficienter er endogene (erhvervene) indlægges denne justering i et j-led i fremskrivningens første år 1995, så niveauet for dansk elleverance nedjusteres i alle relationer for erhvervenes energiforbrug. Dette medfører at de øvrige energikoefficienter i erhvervene opjusteres, hvor det burde have været elimporten alene dvs. koefficienten for olieimport  $am3q_j$ , der skulle have været opjusteret. Der er set bort fra denne meget marginale påvirkning af brændselsfordelingen indenfor erhvervene.

### 7.2.3 Fremskrivning af udbygning med elproduktionskapacitet

Der skal fremskrives udvikling såvel for kapacitetsmæssige størrelser som for mere teknologibaserede data. Følgende størrelser fremskrives

- Årlig udbygning med vind, decentral kraftvarme mv.
- De eksisterende centrale elproduktionsenheder, herunder specielt udtagningstidspunkt og den resulterende dødscurve for central kapacitet
- Planlagte værker, hvor specifikationerne og ibrugtagningstidspunktet er kendt
- Værkstørrelse, type, brændselsanvendelse og tekniske koefficienter for centrale anlæg, der udbygges med i fremskrivningsperioden

Kapaciteterne for vind, decentral kraftvarme, industriel kraftvarme og andet, under et betegnet sekundær kapacitet fremskrives med udbygningen i det enkelte år for både elværksejede som ikke elværksejede anlæg. Referencefremskrivningen for sekundære anlæg i alt er gengivet nedenfor.



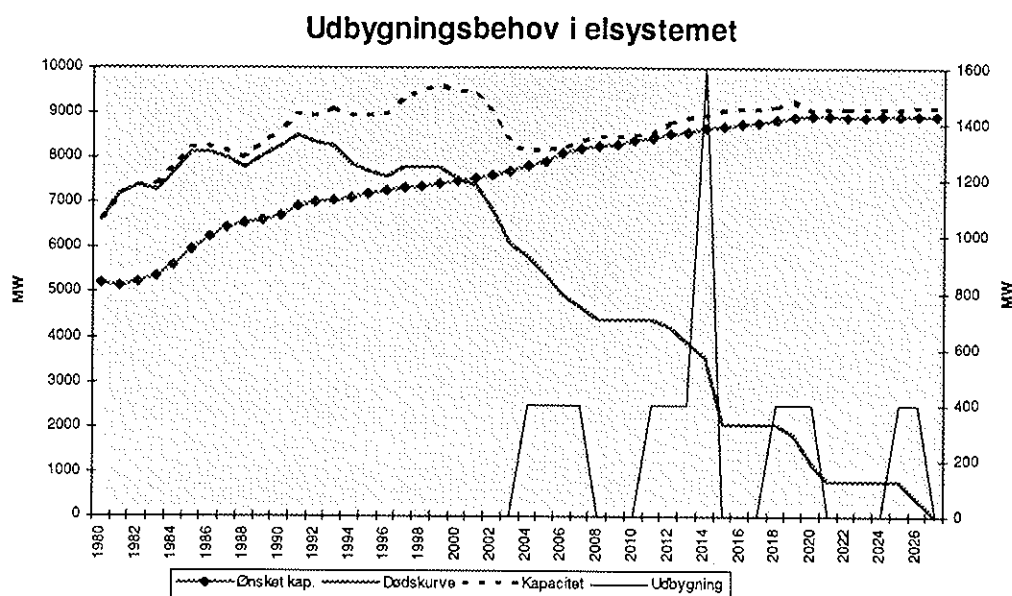
Figur 7.2 Basisfremskrivning af sekundær elproduktionskapacitet

Kilde: Data 1985-94 DEF tiårsstatistik mv.

Udbygningen med decentral kraftvarme forudsættes at fortsætte frem til 2010 med en noget langsommere stigningstakt end i dag, hvorefter kapacitetsudbygningen stopper. Vindkapacitet forudsættes udbygget med en konstant årlig tilvækst, ligesom gruppen anden kapacitet, der primært består af industriel kraftvarme.

Central elproduktionskapacitet fremskrives ud fra oplysningerne om de eksisterende ca. 50 kraftværksblokke. Herudover er indlagt udbygning med de 2 vedtagne blokke på Skærbækværket og Nordjyllandsværket.

Hermed udvikler den samlede elproduktionskapacitet sig som den stiplede serie i Figur 7.3.



Figur 7.3 Ønsket kapacitet, dødskurve og udbygning af elsystemet

I Figur 7.3 er serien for udbygning specificeret i forhold til den højre akse og de øvrige serier i forhold til den venstre akse. Ønsket kapacitet fremkommer fra indenlandsk efterspørgsel genereret fra ADAM kombineret med antagelse om et uændret forhold mellem efterspørgsel og maksimal belastning og en antagelse om en ønsket reservekapacitet på 20% i forhold til maksimal belastning. Dødskurven er genereret fra oplysningerne om de enkelte kraftværksblokkes forventede udtagnings tidspunkt, som opgivet i ELSAM og ELKRAFT datamateriale til udbygningsplanlægning. Udbygningen der er medtaget i figuren er udelukkende for den centrale elproduktionskapacitet. Derimod er den sekundære kapacitet indeholdt i serien for kapacitet i alt.

Udbygningen af de centrale anlæg foregår i blokstørrelser på 400 MW, hvor der i referenceforløbet udbygges med identiske kraftvarmeanlæg i form af multi-fuel værker med max 100% kul, 100% olie og 50% biomasse.

Elvirkningsgrad, Cm og Cv-værdier følger en trend over tid, således at specifikationerne for de nye værker bliver årgangsspecifikke. Der er ikke taget hensyn til forskellige virkningsgrader mv. som følge af det faktiske brændselsmix.

Tabel 7.1 Teknologiske antagelser for nye centrale kraftvarmeværker

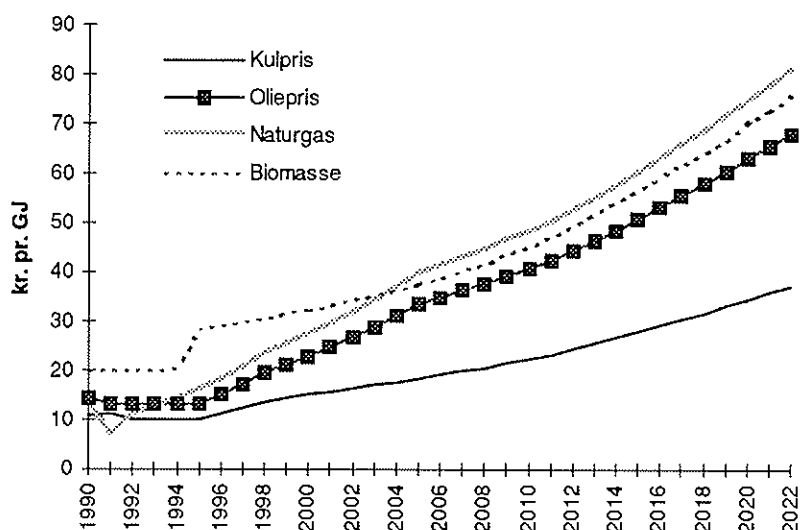
Teknisk koefficient	Elvirkningsgrad	Cm	Cv
Udgangspunkt 1995	0.45	0.68	0.15
Vækstrate for koefficient 1995-	0.8%	2.5%	0%

#### 7.2.4 Brændselspriser for forsyningssektoren

De væsentligste elementer i prisfremskrivningen består af

- Brændselspriser fra ENS prognoser inkl. transportomkostning
- Biomassepris fremskrives med et andet niveau end ENS prognose, men antages ellers primært at bestå af halm
- 2 forskellige gaspriser anvendes i elværker og i fjernvarmeværker

Værkernes brændselspriser fremskrives med basis i de ovenfor i 7.2.1 beskrevne brændselspriser, idet transportomkostninger til store kraftværker tillægges i overensstemmelse med Energistyrelsens opgørelser af samme i samfundsøkonomiske brændselspriser okt. 1995. Transportomkostninger fremskrives også med BFI-prisindekset fra ADAM. Biomasseprisen kan fremskrives enten ifølge de samfundsøkonomiske brændselspriser fra Energistyrelsen sammenvejet ud fra antagelser om fordeling på affald, halm, træflis mv. De samfundsøkonomiske priser er imidlertid ikke særlig relevante for omkostningsminimerende adfærd i kraftvarmesektoren, hvor de faktiske priser må skulle fremskrives. Dette er så gjort ved at tage udgangspunkt i kraftværkernes observerede pris på halm og træflis i 1995 og fremskrive denne ligeligt sammenvejede pris med udviklingen i Energistyrelsens samfundsøkonomiske brændselspris på halm. Dermed er niveauet for biomasseprisen væsentligt over prisen på de øvrige brændsler i 1995, hvorimod vækstraten som afspejlet i Figur 7.4 er lavere i de følgende år, således at biomasseprisen kommer på niveau med fuel og naturgaspriserne.



Figur 7.4 Brændselspriser for centrale kraftvarmeværker (faktiske priser)

I hele referencefremskrivningen vil kul således være konkurrencemæssigt suverænt det billigste brændsel, hvorimod prisen på de 3 øvrige brændsler følger hinanden.

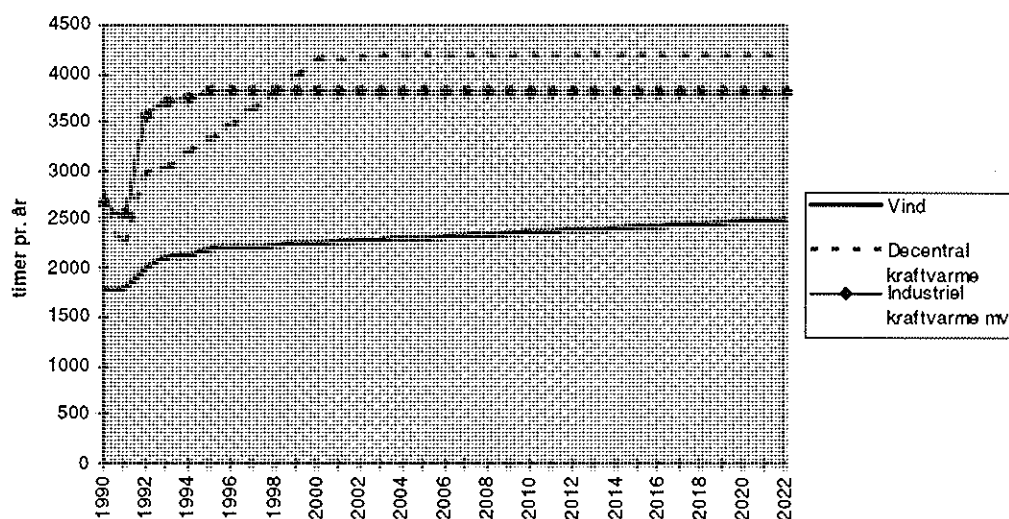
Der er ikke i referencen indlagt afgifter på brændselsanvendelsen i forsyningssektorerne.

Der anvendes i forsyningsmodulet 2 gaspriser, idet der i praksis er overordentlig stor forskel på den pris de forskellige forsyningsproducenter betaler. Den ovenfor fremskrevne naturgaspris indgår i de centrale værkers omkostningsminimering og til omkostningsberegning af elværksejede decentrale kraftvarmeværkers naturgasforbrug, mens fjernvarmeværkerne betaler den i forsyningsmodulet beregnede outputpris fra naturgasforsyningssektoren.

#### 7.2.5 Fremskrivning af elproduktion og brændselsfordeling på sekundære værker

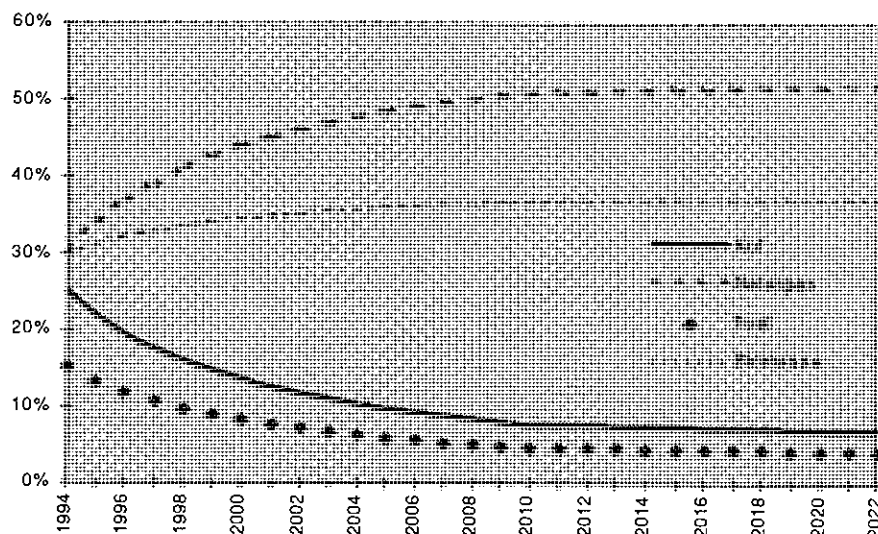
Elproduktion fra sekundær kapacitet fremskrives eksogent gennem en fremskrivning af benyttelsestider for alle kategorierne. Det antages at hele kapaciteten indenfor hver kategori har samme benyttelsestid uanset årgang og brændsel. Der fremskrives således en gennemsnitlig benyttelsestid for 7 forskellige sekundære kategorier.

De sammenvejede benyttelsestider er gengivet i Figur 7.5, der afspejler en moderat vækst i benyttelsestiden for vind og en betydelig vækst i benyttelsestiden for decentral kraftvarme. Den betydelige vækst for kraftvarme op til et niveau på 4200 årlige fuldlast driftstimer hænger sammen med, at de beregnede benyttelsestider tager udgangspunkt i årets elproduktion og kapaciteten ultimo året. Udbygningen har været ganske hurtig i de seneste år, hvorfor den gennemsnitlige kapacitet har været betydelig mindre end ultimokapaciteten. I samme retning mod et højere faktisk niveau for benyttelsestider i dag trækker de relativt milde vintre i de foregående år. I beregningen af de historisk observerede benyttelsestider er der ikke korrigeret for klimaafvigelser.



**Figur 7.5 Benyttelsestider for sekundære produktionskategorier**

Den årlige kapacitetsudbygning indenfor decentral kraftvarme og industriel kraftvarme skal herefter fordeles på brændselsteknologi og tilknyttet totalvirkningsgrad. Årgangenes brændselsfordeling fremskrives og omregnes til gennemsnitlig brændselsfordeling for bestanden som gengivet i Figur 7.6. Det er i figuren brændselsandelene for de ikke elværksejede decentrale kraftvarmeværker samt industrielle kraftvarmeværker, der fremskrives, idet der antages samme specifikationer for de 2 kategorier. For de elværksejede decentrale kraftvarmeværker fremskrives brændselsfordelingen med helt det samme forløb som gengivet i Figur 7.6.



**Figur 7.6 Brændselsfordeling på decentrale kraftvarmeværker (ikke elværksejede)**

For de 4 brændselskategorier fremskrives samtidig en totalvirkningsgrad, idet brændselskategorierne for hver årgang tilordnes en totalvirkningsgrad. Totalvirkningsgraden er fremskrevet uændret for hver af brændselskategorierne og med værdier som i Tabel 7.2 *Totalvirkningsgrader*. For de elværksejede decentrale kraftvarmeværker er der antaget samme totalvirkningsgrader som for ikke elværksejede.

**Tabel 7.2 Totalvirkningsgrader Cm værdi mv. for decentrale kraftvarmeværker**

Brændselskategori	Kul	Naturgas	Fuel olie	Biomasse
Cm	0.65	0.60	0.50	0.40
Totalvirkningsgrad	0.88	0.90	0.90	0.85

#### 7.2.6 Fremskrivning af varmeefterspørgselsens fordeling og tekniske koefficienter

Til brug for varmeproduktionsberegninger samt fordeling mellem fjernvarmeværker og kraftvarme foretages følgende fremskrivninger.

- Kraftvarmeandel vokser jævnt til 80% omkring 2005 og fastholdes herefter
- Cm-værdier for de nye årgange af decentrale kraftvarmeværker fremskrives uændret

På varmesiden stammer efterspørgselsfremskrivningen fra ADAM, idet fjernvarmeefterspørgslen i husholdningerne oprindeligt er bestemt i varmemodulet, hvorimod erhvervenes fjernvarmeforbrug udelukkende er bestemt af ADAM og en opdeling af den samlede forsyningsefterspørgsel. For erhvervene er opsplitningen foretaget med fast opdeling på el, gas og fjernvarme, således at en udvikling i den samlede energiefterspørgsel påvirker forsyningsinput i erhvervet, hvor denne påvirkning så fordeles ligeligt på el, gas og fjernvarme. Elkoefficienter samt forsyningskoefficienter er fremskrevet specielt i 1995 som en følge af elimportproblemet jvf. ovenfor.

Den således fremkomne varmeefterspørgsel fordeles herefter på decideret fjernvarme og kraftvarme med en eksogen kraftvarmeandel. Kraftvarmeandelen er fremskrevet fra de nuværende knap 70% og op til 88% af varmeproduktionen i 2005, hvorefter andelen holdes konstant.

For varmeproduktionen er Cm værdierne centrale og der er her foretaget en fremskrivning af Cm værdier for de decentrale kraftvarmeværker, således at Cm

værdierne er fremskrevet for årgangene og for hver brændselskategori indenfor årgangene. I praksis er der fremskrevet med statiske Cm værdier, men med noget forskel mellem brændselskategoriernes Cm værdier. Der kunne alternativt have været fremskrevet med stigende Cm værdier, da denne udvikling nok må imødeses ligesom for de centrale kraftvarmeværker. De anvendte Cm værdier er angivet i tabel Tabel 7.2 *Totalvirkningsgrader*.

Anvendelsen af Cm værdierne medfører at varmeproduktionen afhænger af en given elproduktion og Cm værdien for den respektive brændselsteknologi. Alle årgange af kapaciteten har samme antal benyttelsestimer, så den gennemsnitlige Cm værdi for brændselsteknologierne benyttes i beregningerne af varmeproduktion.

Fjernvarmeproduktionen er bestemt af varmeefterspørgsel og den fremskrevne kraftvarmeandel. Brændselsfordelingen af fjernvarmeproduktionen fremskrives for den samlede varmeproduktion, idet der ikke er specificeret kapaciteter for fjernvarmen. Det antages at den nødvendige kapacitet altid vil være til stede. Brændselsfordelingen er fremskrevet uændret i referencen.

**Tabel 7.2 Brændselsfordeling og virkningsgrad på fjernvarmeværker**

Brændselskategori	Kul	Naturgas	Fuel olie	Biomasse
Andel af kapacitet	8%	25%	5%	62%
Virkningsgrad	0.80	0.95	0.90	0.80

De brændselsspecifikke virkningsgrader på fjernvarmeværker er fremskrevet uændrede med de i Tabel 7.2 angivne værdier. Både brændselsfordeling og virkningsgrad antages uændrede i fremskrivningen, idet det til dels forudsættes, at kapaciteten på fjernvarmeværker hverken udbygges, ombygges eller erstattes af nye værker. Dette kan kun forudsættes med en faldende fjernvarmeandel, som den er fremskrevet ovenfor fra ca. 30% og ned til 12% i 2005, samt en stagnerende varmeefterspørgsel i alt.

### 7.2.7 Naturgasefterspørgsel og forsyning

Naturgasefterspørgslen bestemmes fra ADAM, idet der for 1995 er indlagt en moderat vækst i erhvervenes gasefterspørgsel og husholdningenes gasefterspørgsel oprindelig bestemmes i varmemodulet. Der er således ikke lagt nogen videre udbygning af erhvervenes naturgasefterspørgsel/anvendelse ind i referencekørselen og dermed følger naturgasefterspørgselen i erhvervene den samlede energiefterspørgsel i de enkelte erhverv.

Forsyningsmodulet bestemmer gasefterspørgsel til el- og varmeproduktion, idet de centrale værkers gasforbrug fremkommer gennem omkostningsminimeringen og de decentrale kraftvarmeværker efterspørger gas svarende til den konverterede gasandel af varmeproduktionen givet ud fra de fremskrevne benyttelsestider og Cm-værdier. Fjernvarmesektoren efterspørger naturgas i forhold til gasandelen af fjernvarmeproduktion omregnet med den brændselsspecifikke virkningsgrad, men fjernvarmeværkernes naturgasefterspørgsel retter sig mod naturgasforsyningssektoren, hvorimod kraftvarmeproduktionens gasefterspørgsel retter sig mod udvindingserhvervets naturgas.

### 7.2.8 Investeringer og prisdannelse for forsyningssektor

Specielt for investeringer indenfor elforsyning indgår en del antagelser omkring priser på de forskellige investeringstyper, samt fremskrivning af omkostningskomponenter for elprisfastsættelsen.

**Tabel 7.3 Anlægspriser for elkapacitetsudbygning**

Brændelseskategori	Central kraftvarme	Decentral kraftvarme	Vind
Anlægspris mill. kr. pr. MW	6.0	6.0	6.5

Anlægspriserne i Tabel 7.3 vedrører 1992, og fremskrives på grundlag af prisindekset for investeringer i ADAM. Kapacitetsudbygningen omregnes fra MW til investeringer i løbende priser, idet der for central kraftvarme foretages en fordeling af den samlede anlægssum over de 5 år, der ligger umiddelbart før ibrugtagningen. Anlægsprisen kan alternativt specificeres direkte år for år i en fremskrivning.

Import af el medgår i omkostningsopgørelsen for elforsyning. Nettoimporten målt i Gwh tilordnes en pris baseret på en beregnet pris for 1993, der fremskrives med 1% om året. Denne antagelse er selvfølgelig overordentlig usikker.

Øvrige anlægsinvesteringer indenfor elforsyning fremskrives som i Tabel 7.4, idet der fremskrives fra de i tabellen angivne niveauer i løbende priser i 1994 og med prisindekset for investeringer.

**Tabel 7.4 Fremskrivning af eksogene investeringskomponenter indenfor elforsyning**

Investeringskategori	Fordellingsanlæg	Milljøanlæg	Øvrige investeringer
Årlig investering mill. kr.	2000	200	375

Løn- og materialeomkostninger i elsektoren beregnes som dokumenteret i kap. 4, på baggrund af en række endogene variable. Der regnes med et balanceret budget, idet der ikke med det nuværende regelgrundlag kan budgetteres med over/underdækning. Renteposten er fremskrevet uændret med 200 mill. kr.

For varmforsyningssektoren er investeringerne fremskrevet uændret på et niveau af 150 mill. kr. i 1980 priser. Der regnes således ikke med nogen videre udbygning af fjernvarmenettet. Der er i praksis fremskrevet en eksogen pris for varme, idet denne er fremskrevet fra et niveau på 40 kr. pr. GJ i 1993. Fremskrivningen på dette område afspejler i høj grad den stærkt forenklede beskrivelse af varmesektoren og specielt den manglende beskrivelse af fjernvarmenet- og udbygning. Den eneste variable del af prisdannelsen for varme er brændselsomkostningerne.

Investeringer og prisdannelse indenfor gasforsyning er ligeledes yderst simpelt beskrevet. Investeringer er i referencen fremskrevet på niveau 150 mill. kr. i 1980 priser. Gasprisen fremskrives med udviklingen i gasprisen fra den basale brændselsprisfremskrivning (naturgas cif.) inkl. afgifter. Niveauet for gaspris er ikke søgt beskrevet og den indlagte udvikling er udtryk for en eksogen fremskrivning. Omkostningselementer, afskrivninger og henlæggelser for sektoren er således ikke beskrevet.

### 7.2.9 Energiforbrug til opvarmning i husholdninger

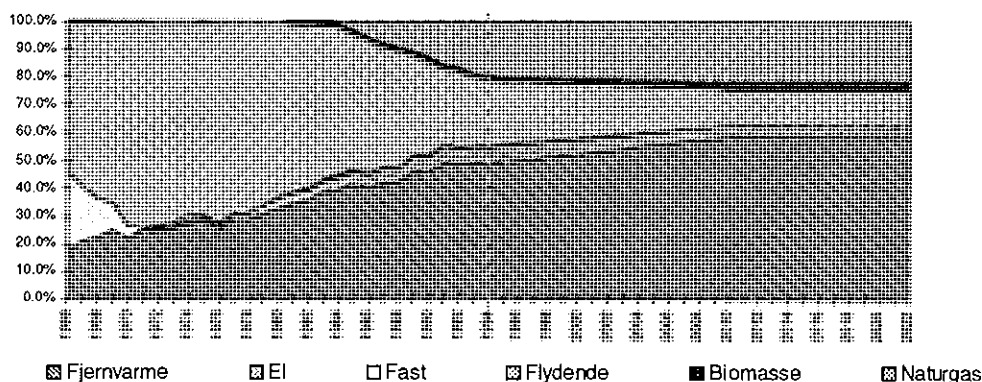
Varmemodulet indeholder fremskrivninger af en række tekniske samt mere strukturelle variable.

- enhedsforbruget pr. m<sup>2</sup> boligareal
- opvarmningsteknologiernes andele af varmebehovet
- teknologiernes lokale virkningsgrader

Enhedsforbruget er fremskrevet uden at specificere nogen adfærd, idet enhedsforbruget fremskrives udelukkende med en konstant eksogen vækstrate. Enhedsforbruget reduceres i referencefremskrivningen med 1% om året. Arealet fremskrives på baggrund af udviklingen i ADAM variabelen for boligbeholdningen i faste priser (*kh*).

De 6 opvarmningsteknologiers andele fremskrives med udgangspunkt i 1994 og frem mod andele specificeret for 2010. Den lineære udvikling af andelen frem mod 2010 og

stabiliseringen herfra er illustreret i Figur 7.7. De andele, som antages at gælde for 2010, svarer til det i BRUS modellen antagne.



**Figur 7.7 Opvarmningsteknologiernes andele af varmebehovet**

Kilde: Energimatricer frem til 1991, udvikling 1992-94 fra Energistatistik 1994

De fremtidige strukturforskydninger eller omlægninger er således antaget at blive væsentligt mindre end observeret i perioden fra 1966 til i dag. Den mest betydelige forskydning er en fortsat vækst i fjernvarmeandelen frem til 2010 og et modsvarende fald i andelen af flydende brændsel.

Der er ikke i fremskrivningen medtaget nye individuelle opvarmningsteknologier såsom varmpumper, solvarme og termisk varme. Fremskrivningen fokuserer således på teknologier, der er eksisterende i dag og samtidig er eller har været af en vis betydning.

Teknologiernes lokale virkningsgrad er fremskrevet med udgangspunkt i Energistatistik fra Energistyrelsen frem til 1994 og den aggregerede lokale virkningsgrad får et forløb som skitseret i figur 6.11., idet udviklingen i forhold til figuren er forlænget med en uændret virkningsgrad af lokale teknologier fra 2010 og frem. Fremskrivningen af de lokale virkningsgrader indvirker ikke på varmebehovet, men kun på konverteringen til det direkte energiforbrug.

#### 7.2.10 Elforbrug i husholdninger

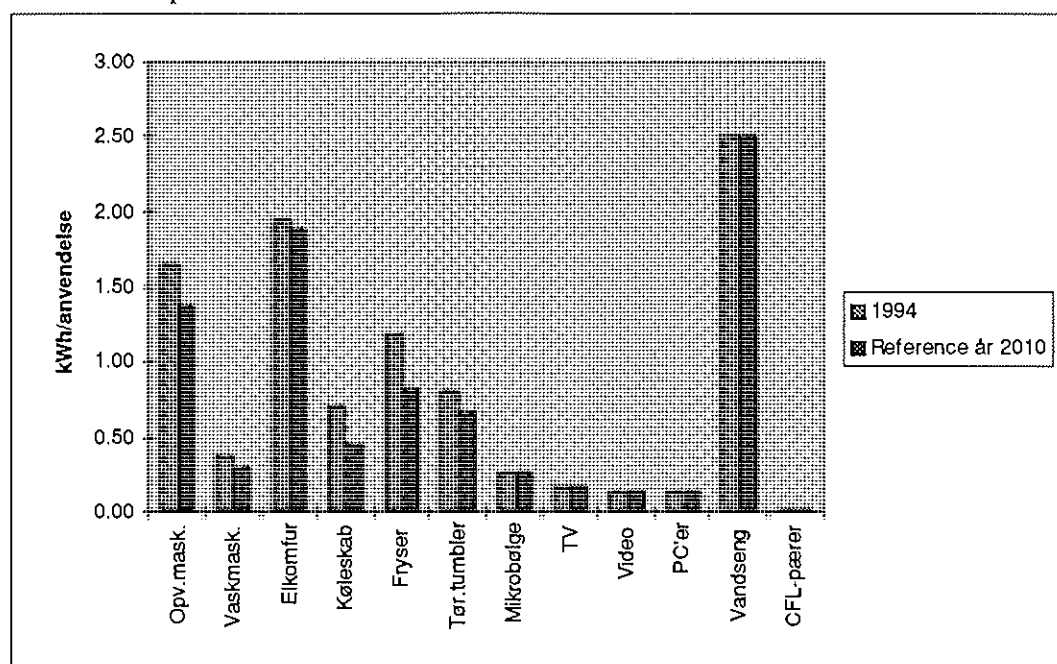
Apparatmodulet indeholder en række antagelser om apparaternes tekniske udvikling, samt anvendelsen af apparaterne:

- udvikling i energieffektiviteten for apparaterne er antaget at følge den historiske trend, dvs. at effektiviteten typisk forbedres med 1-1 1/2 % om året
- som udgangspunkt er anvendeshyppighederne for apparaterne holdt konstant på 1994-niveau, dog påvirkes anvendelsen af nogle af de energiintensive apparater i begrænset omfang af ændringer i elprisen
- der er specificeret en exogen vækst i bestanden af de ikke-energiintensive apparater samt fryserne. Bestanden af øvrige energiintensive apparater er bestemt i et samspil med den økonomiske udvikling i ADAM-modellen.
- husstandskvotienten, dvs. antallet af personer pr. husstand, er antaget at falde fra godt 2.2 i 1994 til 1.7 i 2020. Dette implicerer et fald på knap 1% om året.

Figur 7.8 viser udviklingen i apparaternes energieffektivitet i referenceforløbet i forhold til i dag. Som det fremgår af denne er det specielt køle- og fryseapparaterne, der selv i et



“business-as-usual” forløb forventes at få et markant lavere elforbrug end de apparater, der i 1994 er på markedet.



Figur 7.8 Den i referenceforløbet antagne udvikling i apparaternes energieffektivitet.

## 7.3 Hovedresultater

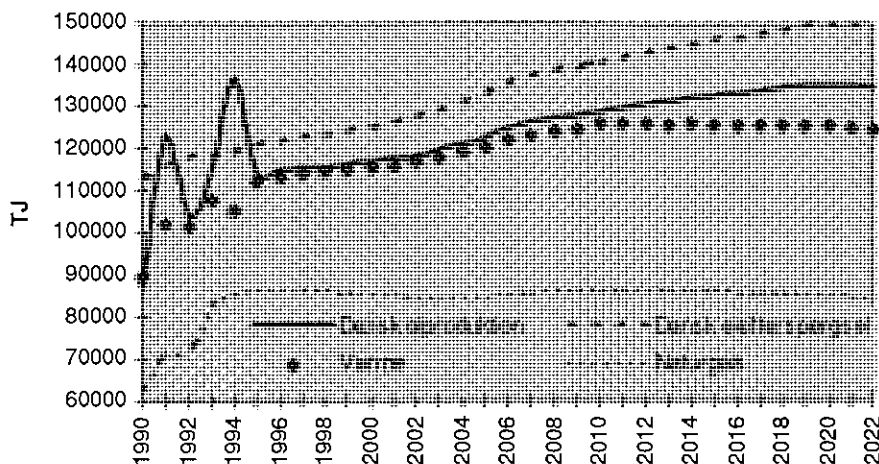
Referenceforløbets resultater kan klassificeres i flere grupper

- efterspørgselsforløb for de 3 forsyningsvarer
- udbygningskrav og sammensætning af elproduktionssystemet
- brændselsforbrug til el- og varmeproduktion samt CO<sub>2</sub> emission fra forsyningsystemet
- endeligt energiforbrug fordelt på hovedsektorer
- bruttoenergiforbrug og CO<sub>2</sub> emission

Der er i gennemgangen af referenceforløbets resultater taget udgangspunkt i de krav det makroøkonomiske forløb stiller til produktion af konverteret energi i forsyningssektoren.

### 7.3.1 Efterspørgselsforløb for de 3 forsyningsvarer

Efterspørgselsudviklingen genereret fra ADAM og indirekte fra apparat og varmemodul fremgår af Figur 7.9.



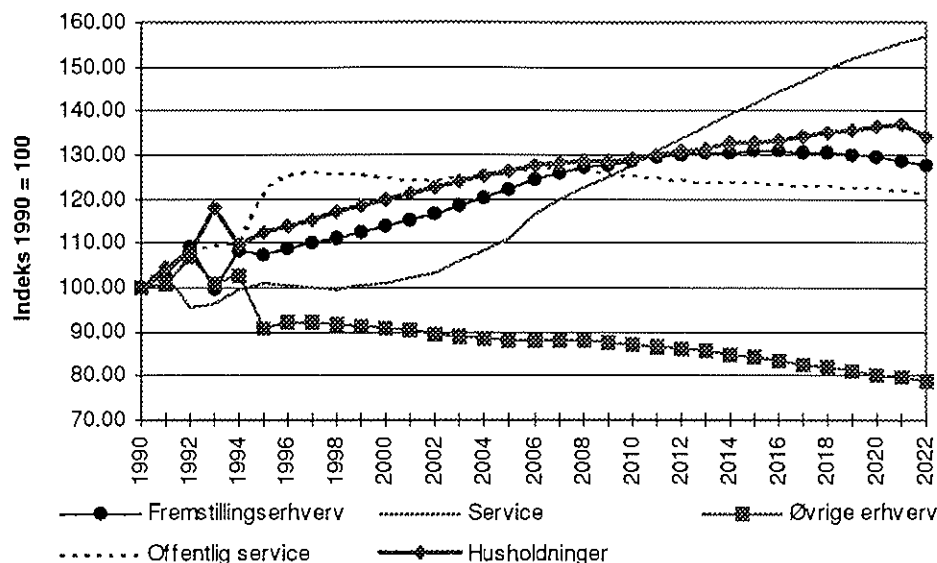
**Figur 7.9 El-, gas- og varmeefterspørgsel**

Årsagen til de kraftige svingninger i dansk elproduktion frem til 1995 og det jævne forløb herefter er svingninger i udenrigshandelen med el som i fremskrivningen er udjævnet ved at fremskrive eleksport konstant og elimport som en konstant andel af elefterspørgslen.

Varmeefterspørgsel svinger ligeledes en del frem til 1995, idet det specielt her kommer til udtryk at der er tale om ikke klimakorrigerede tal. Fremskrivningen er derimod udtryk for klimakorrigerede tal, i og med der ikke fremskrives klimaændringer.

Naturgasefterspørgselen udgøres af naturgasforsyningserhvervets leverancer, hvorimod de direkte naturgasleverancer fra udvindingserhvervet til elproduktion ikke er indeholdt i figuren.

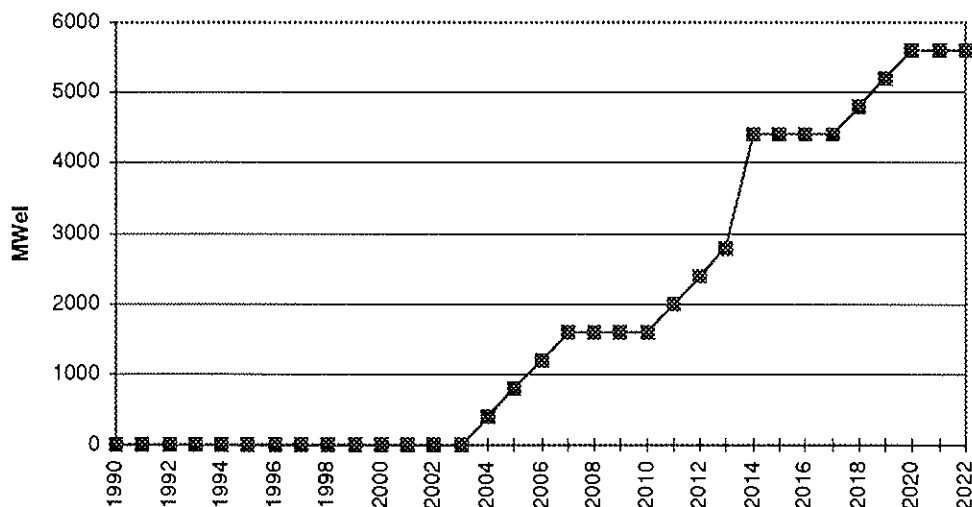
Nedenfor i Figur 7.10 er udviklingen i elefterspørgsel fordelt på erhverv gengivet. I fremskrivningen vokser elforbruget i serviceerhvervene kraftigst, hvorimod elforbruget i øvrige erhverv stagnerer. Hovedparten af fremskrivningens forskellige forløb for erhvervenes forbrugsudvikling kan tilskrives forskelle i erhvervenes produktionsudvikling. Både husholdninger som fremstillingserhvervenes efterspørgsel vokser jævnt i fremskrivningen



Figur 7.10 Elefterspørgsel fordelt på erhverv

### 7.3.2 Udbygningsbehov i elproduktionssystemet og sammensætning af kapaciteten

Efterspørgselsudviklingens betydning for elproduktionssystemet er fremkommet under hensyntagen til dansk elefterspørgsel som den kapacitetsbestemmende faktor i elsystemet og under hensyntagen til udbygning med de sekundære produktionskategorier gengivet ovenfor i Figur 7.2. Den nødvendige udbygning med central elproduktionskapacitet er gengivet i Figur 7.11.

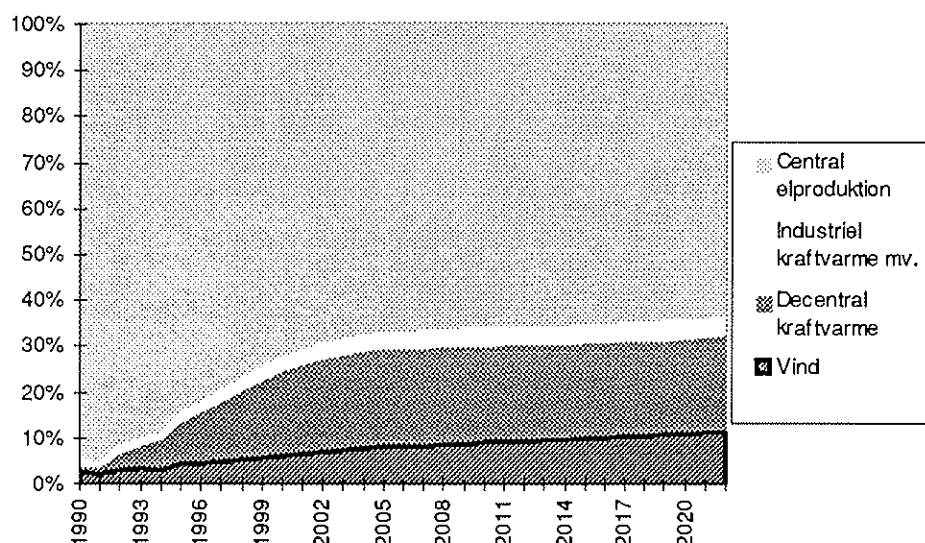


Figur 7.11 Akkumuleret udbygning af central kapacitet

Den ovenfor gengivne udbygning vedrører den kapacitet, som opføres udover det der allerede er planlagt og indeholdt i den specifikke opgørelse af alle værkerne. Således indgår de 2 værker, der er godkendt til udbygning i 90'erne ikke i ovenstående figur.

Elproduktion fra de forskellige produktionskategorier er gengivet i Figur 7.12, hvoraf den stigende andel af decentral elproduktion fremgår. Efterspørgselsudvikling samt fremskrivningen af sekundær kapacitet medfører dog at kapaciteten i det centrale

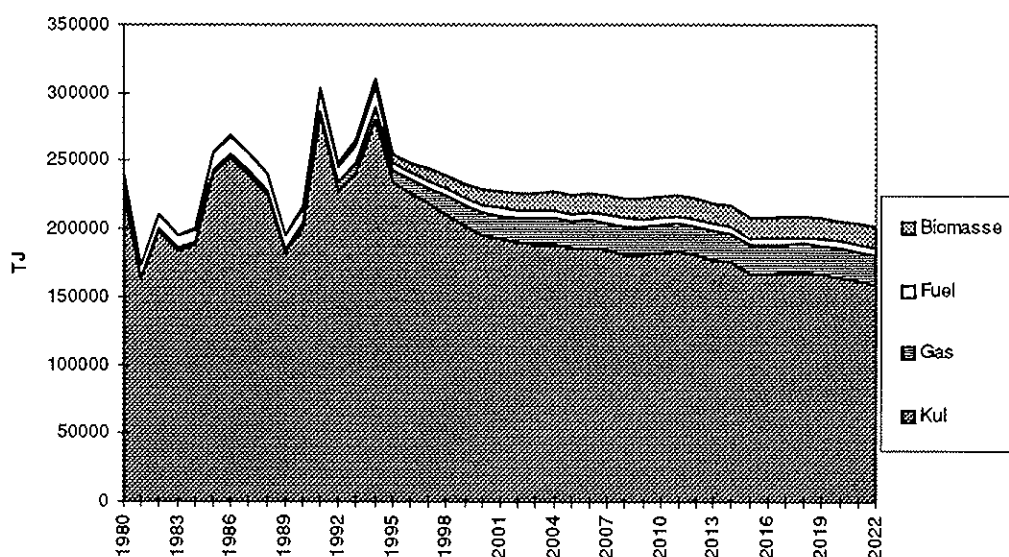
elproduktionssystem i forhold til i dag kan holdes nogenlunde uændret. Væksten for decentral kraftvarme er størst, men udviklingen flader ud omkring 2010, hvor udbygningen med vind fortsætter. I referencen er det således de sekundære produktionskategorier som udbygges til at dække den forøgede efterspørgsel.



*Figur 7.12 Elproduktion fordelt på produktionskategorier*

### 7.3.3 Brændselsforbrug og CO<sub>2</sub> emissioner i forsyningssektoren

De ovenfor gengivne efterspørgselsforløb for el og varme giver anledning til et brændselsforbrug som skitseret i Figur 7.13 og Figur 7.14.



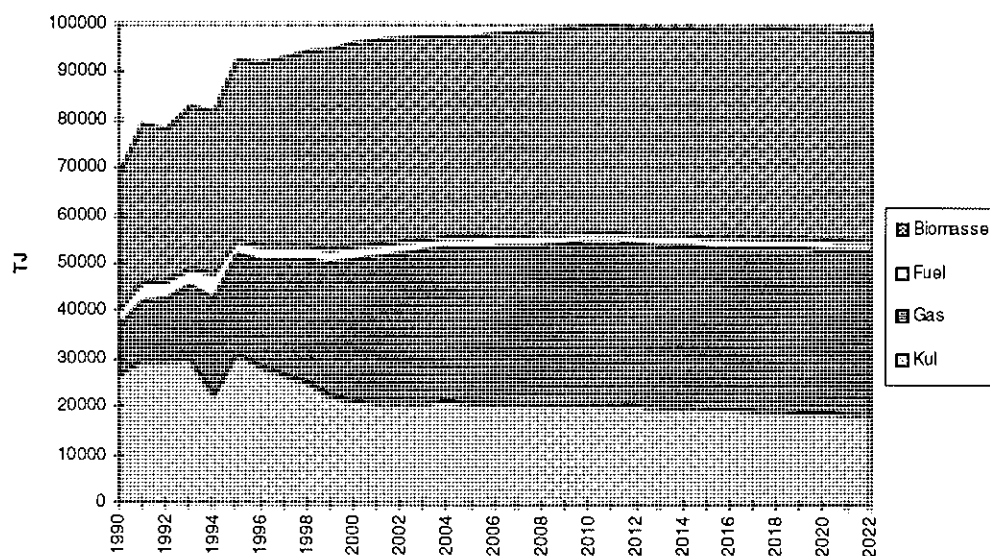
*Figur 7.13 Brændselsforbrug til elproduktion*

Kulforbruget kan næsten udelukkende henføres til centrale værker, hvorimod gas- og biomasseforbruget næsten udelukkende ligger på decentrale kraftværk. Det

relativt lille brændselsforbrug til elproduktion for brændslerne gas, fuel og biomasse set i forhold til den betydelige andel af elproduktionen på sekundære produktionskategorier hænger sammen med fordelingen af brændselsforbruget i decentrale kraftvarmeværker, hvor el- og varme antages produceret med identisk virkningsgrad. Det manglende brændselsforbrug ved vindkraft afspejles selvfølgelig også i denne sammenhæng.

I referencen er der således ikke anvendt gas og biomasse på de centrale værker, hvilket skyldes de høje brændselspriser på disse samt antagelsen om omkostningsminimering. Der kan indlægges et minimumsforbrug på de værker som har teknisk mulighed for at udnytte disse brændsler, men dette er ikke gjort i referencen. Det antages at gas- og biomasseforbruget i decentrale kraftvarmeværker er af en sådan størrelse at evt. aftalebegrænsninger kan opfyldes ved brændselsanvendelsen på disse værker. Der er ikke indarbejdet begrænsninger omkring naturgasforbrug og biomasseanvendelse afledt af de konkrete aftaler der eksisterer.

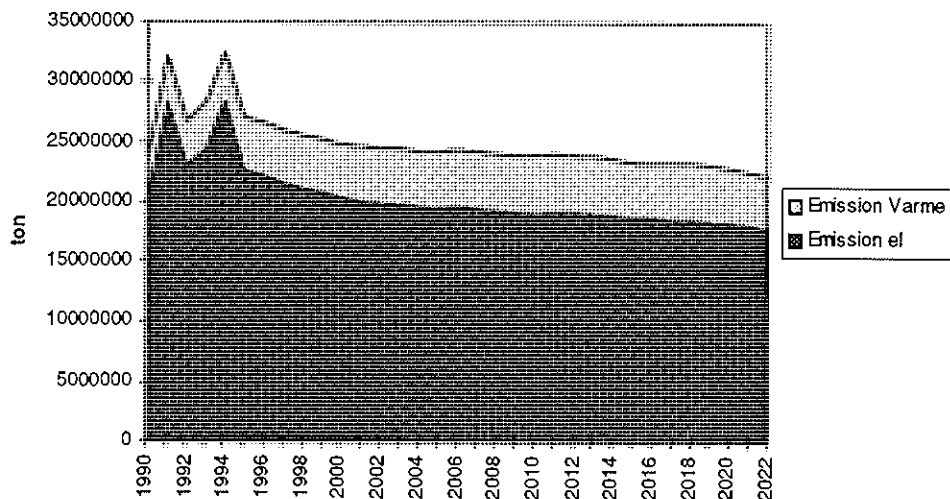
Varmeproduktionen medfører et brændselsforbrug som i Figur 7.14. Den høje biomasseandel i figuren skyldes den store biomasseanvendelse i fjernvarme i form af især affaldsforbrænding. Affald er her indeholdt i brændslet biomasse. Stigningen i gasforbruget hænger sammen med udbygningen af decentral kraftvarme, hvorimod kulforbruget stammer fra varmeproduktionen på de centrale kraftvarmeværker.



**Figur 7.14 Brændselsforbrug til varmeproduktion**

Den noget mere blandede brændselsanvendelse til varmeproduktion skyldes de centrale værkers meget mindre andel af varmeproduktionen end for elproduktionen. Fremskrivningen er ikke for varmeproduktion trukket længere i retning af alternative brændsler ved en massiv omlægning her. Der foregår faktisk kun omlægning i form af udbygning med gasfyret decentral kraftvarme og en mindsket andel af varmeproduktionen på deciderede fjernvarmeværker.

Forsyningssektorens samlede CO<sub>2</sub> emission udgøres af emissioner forbundet med varme og elproduktion, idet der ses bort fra emissioner forbundet med udslip fra naturgasnettene. CO<sub>2</sub> emission opgøres simpelt ud fra brændselsanvendelsen, idet det antages at biomasseanvendelse ikke medfører CO<sub>2</sub> emission.

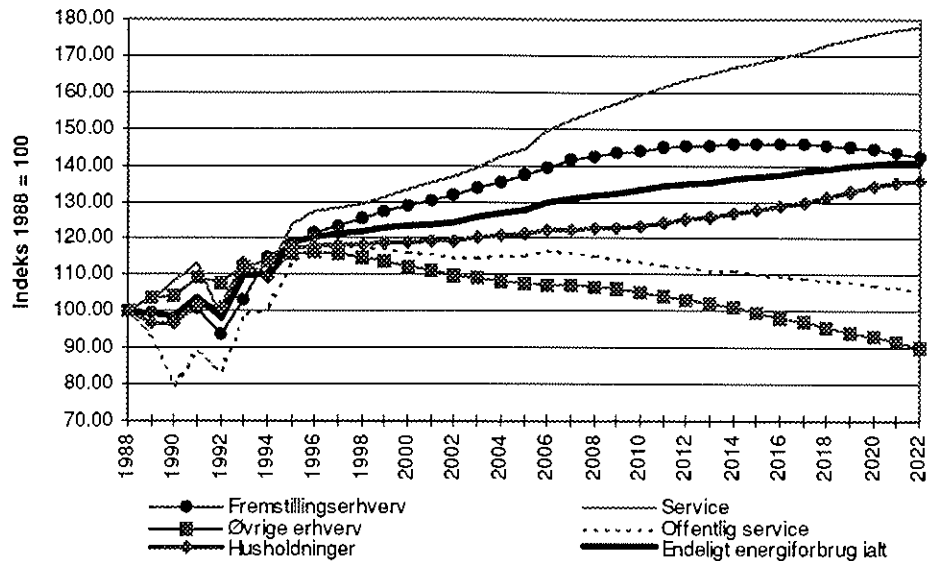


*Figur 7.15 CO<sub>2</sub> emission i forsyningssektoren*

Forsyningssektorens emissioner reduceres som en følge af øget andel af vindkraftproduktion og til dels kraftvarmeproduktion, hvor brændselsfordelingen i sig selv medfører et mindre gennemsnitligt CO<sub>2</sub> indhold end i den centrale kraftvarmeproduktion. Endvidere giver forbedringer af virkningsgrader en reducerende virkning, der dog modvirkes af en stadigt stigende el- og varmeefterspørgsel.

#### 7.3.4 Endeligt energiforbrug fordelt på sektorer

For hele økonomien kan en summarisk opgørelse af energiforbrug samt emissioner foretages. En sådan opgørelse baseret på ADAM energivariablene er foretaget. Referencefremskrivningen indebærer en udvikling i energiforbrug målt i faste priser som gengivet i Figur 7.16.

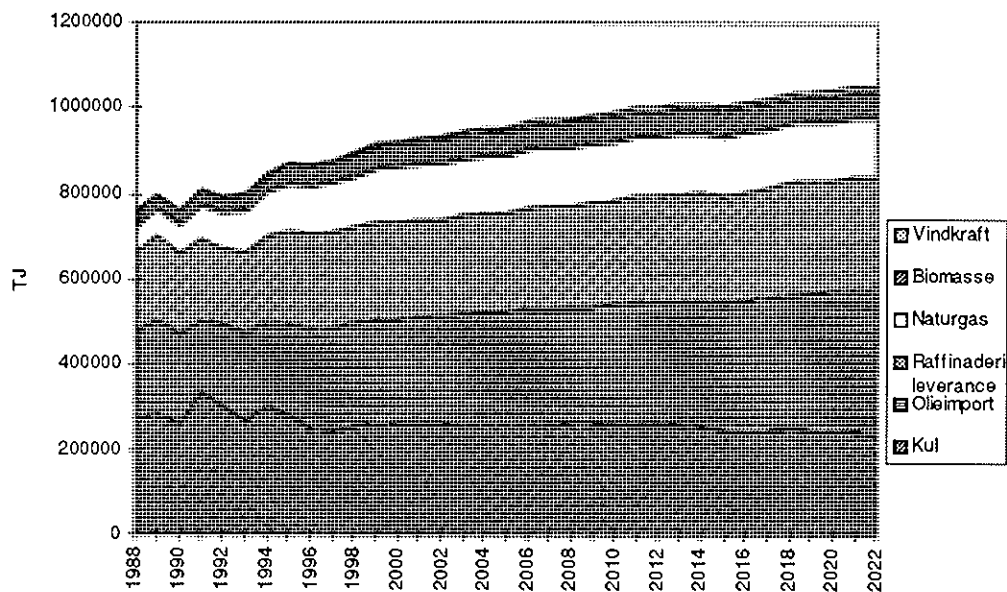


**Figur 7.16 Endeligt energiforbrug målt i faste priser for erhverv og husholdninger**

Specielt serviceerhvervenes energiforbrug stiger kraftigt, men også for fremstillingserhvervene er der tale om en stigning over gennemsnittet, hvorimod husholdningernes energiforbrug vokser langsommere end det totale energiforbrug. Den faldende tendens for offentligt energiforbrug må i høj grad tilskrives den meget langsomme vækst i den offentlige sektor i ADAM fremskrivningen, ligesom faldet i øvrige erhvervs energiforbrug må skyldes en stagnation i bygge- og anlægssektoren samt landbruget.

### 7.3.5 Bruttoenergiforbrug og CO<sub>2</sub> emissioner

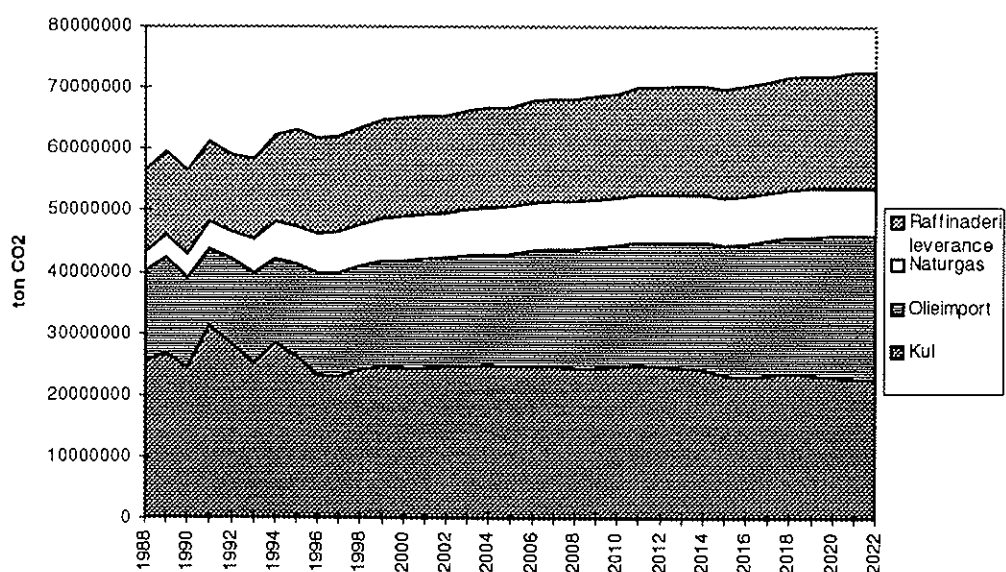
Energiforbruget kan alternativt opgøres fra tilgangssiden i ADAM, hvilket kan give en fordeling på kul, naturgas og olieprodukter.



**Figur 7.17 Opgørelse af bruttoenergiforbruget fra ADAM fordelt på brændsler**

Den i figuren angivne biomasse og vindkraft er udelukkende det fra forsyningsmodulet opgjorte, mens de øvrige serier er opgjort fra ADAM.

Emissioner er opgjort ikke på baggrund af den ovenfor gengivne udvikling i erhvervenes energiforbrug, men derimod på baggrund af en opgørelse for tilgang af brændsler som gengivet i Figur 7.17. Fra ADAM haves brændselsimport og produktion i raffinaderisektoren, hvor der må anvendes et skønnet gennemsnit for  $\text{CO}_2$  indhold i olieprodukter fælles for raffinaderiproduktion og import af forarbejdede olieprodukter. På baggrund heraf kan følgende  $\text{CO}_2$  emissionsforløb opstilles.



**Figur 7.18  $\text{CO}_2$  emissioner fra dansk brændselsanvendelse**



## 8. Scenarier

Hybris muligheder og egenskaber er illustreret ved hjælp af en række scenarier, der dækker over en del af de spørgsmål både top down og bottom up modeller traditionelt belyser.

Både de mere makroøkonomisk prægede instrumenter, som afgifter, og mere teknisk betingede instrumenter, som normer, og omlægning af forsyningssystemet er illustreret. Endvidere er der udarbejdet et scenarie, der beskriver konsekvenserne for et forsyningssystem af et ændret økonomisk forløb.

Der er opstillet fire illustrative scenarier

- Afgiftsforløb med en CO<sub>2</sub> afgift, der er identisk for alle erhverv og anvendelser (8.1).
- Omlægningsforløb, hvor forsyningssektoren omlægges mod vedvarende energi mv. (8.2).
- Normforløb, hvor der introduceres en række energibesparende tiltag på efterspørgselssiden (8.3).
- Økonomiforløb med ændrede forudsætninger om de generelle energipriser og økonomisk vækst (8.4).

### 8.1 Afgiftsforløb

En CO<sub>2</sub> afgift kan i Hybris indføres som en brændselsspecifik afgift pr. ton CO<sub>2</sub> med et varierende tidsforløb, men identisk for alle sektorer og anvendelser. Sektorene påvirkes forskelligt afhængigt af sammensætningen af energiforbrug på typer. Afgiften indføres som en ekstra afgift oveni de energiafgifter, der er pålagt erhvervsspecifikt i ADAM.

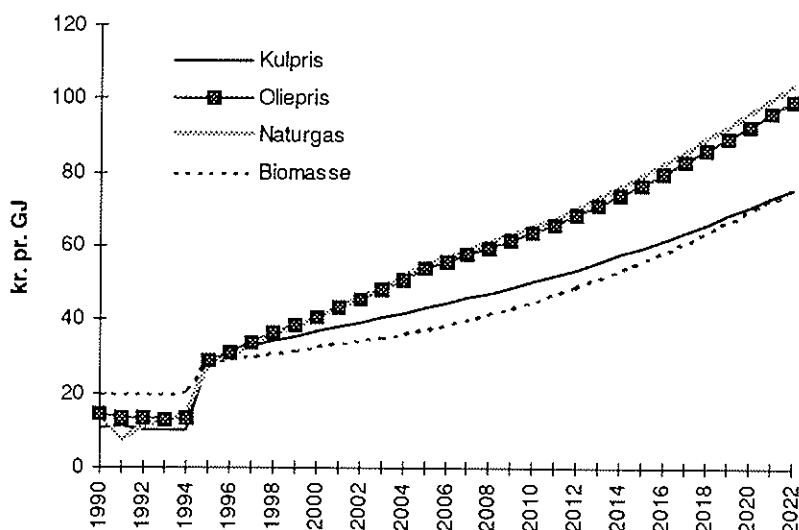
Forsyningssektoren pålægges afgift direkte, således at el og varme i forbrugsleddet kun er indirekte afgiftpålagt via prisdannelsen i forsyningssektoren.

Afgiftsforløbet kan karakteriseres ved følgende elementer

- Der indføres en ekstra CO<sub>2</sub> afgift på 200 kr. pr. ton i 1995 stigende til 400 kr. pr. ton i 2020. Afgiften er identisk for alle anvendelser og erhverv, og provenuet tilbageføres til erhvervene i form af en reduktion af selskabsskatten
- Øvrige antagelser svarer til det for referenceforløbet gældende
- Ændringen af de relative brændselspriser for de centrale kraftvarmeværker fører til en substitution fra kul og mod biomasse i det omfang de tekniske muligheder på værkerne gør dette muligt
- De stigende energipriser fører til et efterspørgselsfald i erhvervene, hvilket igen leder til en mindre udbygning af elproduktionskapaciteten
- Brændselsomlægningen i forsyningssystemet giver et betydeligt fald i forsyningssektorens CO<sub>2</sub> emission
- Den samlede CO<sub>2</sub> emission reduceres med omkring 13% i forhold til referencen, hvoraf reduktionen i forsyningssektoren udgør lang hovedparten
- Det samfundsøkonomiske tab udgør mellem 1% og 1½% af BNP

### 8.1.1 Afgift og brændselspris

Afgiften indføres i 1995 som 200 kr. pr. ton og stiger gradvist mod 400 kr. pr. ton i 2022. Effekten på brændselspriserne for kraftvarmeværkerne er illustreret i nedenstående figur.

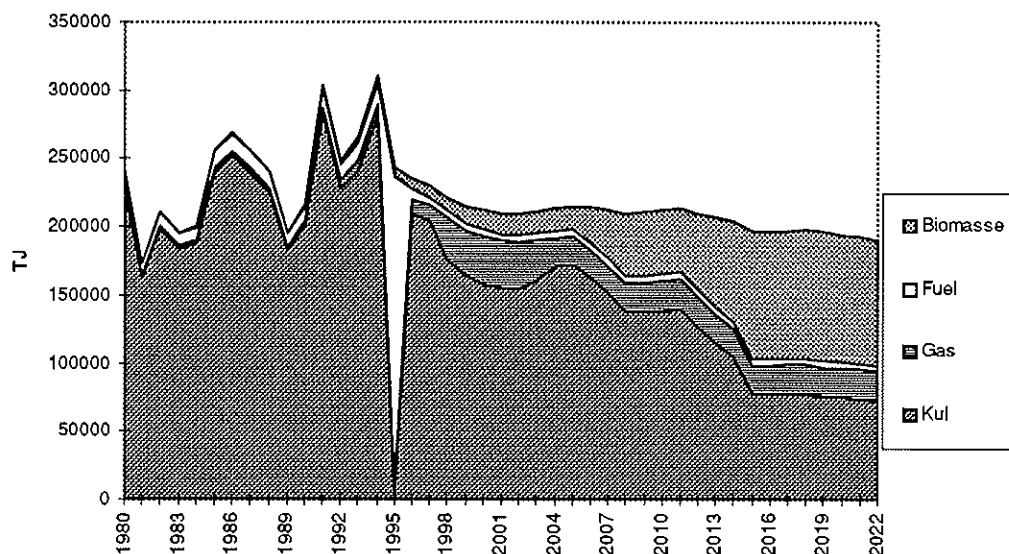


*Figur 8.1 Brændselspriser i forsyningssektoren*

Biomasse bliver med dette afgiftsforløb det billigste brændsel i fremskrivningsperioden. Kul, olie og gas får i udgangspunktet et prisniveau, der er nogenlunde ens, men stigningstakten i kulpriserne er med baggrund i en svag basisstigningstakt langsommere end for de 2 øvrige brændsler, hvorved kulprisen efterhånden bliver konkurrencemæssigt bedst stillet.

### 8.1.2 Brændselssubstitution i forsyningssektoren

Det er interessant at belyse i hvor høj grad det ovenfor skitserede prisforløb for brændslerne giver anledning til forskydninger i brændselsanvendelsen i forsyningssektoren. Dette afhænger primært af substitutionsmulighederne på de nye centrale multifuelværker, som først bygges når efterspørgselen tilsiger dette.



**Figur 8.2 Brændselsforbrug til elproduktion**

Substitutionsmulighederne er umiddelbart meget store med hensyn til skift fra kul til fuel, hvilket illustreres af det etårige skift fra 1994 til 1995 fra fuel og tilbage til kul året efter. Allerede i 1996 er effekten af den større afgift på kul udlignet af en større stigning i basisprisen på fuelolie relativt til kul. Naturgas udnyttes i noget større grad end i referencen, idet det i 1998 introducerede naturgasværk nu udnyttes maksimalt helt frem til 2003, hvorefter kul igen udkonkurrerer dette nye og effektive naturgasfyrede værk.

Først når de nye multifuelværker ibrugtages fra 2005 sker der en betydelig omlægning fra kul og mod biomasse. Det i 1999 ibrugtagne multifuelværk kører selvfølgelig allerede med maksimal biomasseandel. Biomasse kommer efterhånden op på knap halvdelen af det samlede brændsel til elproduktion.

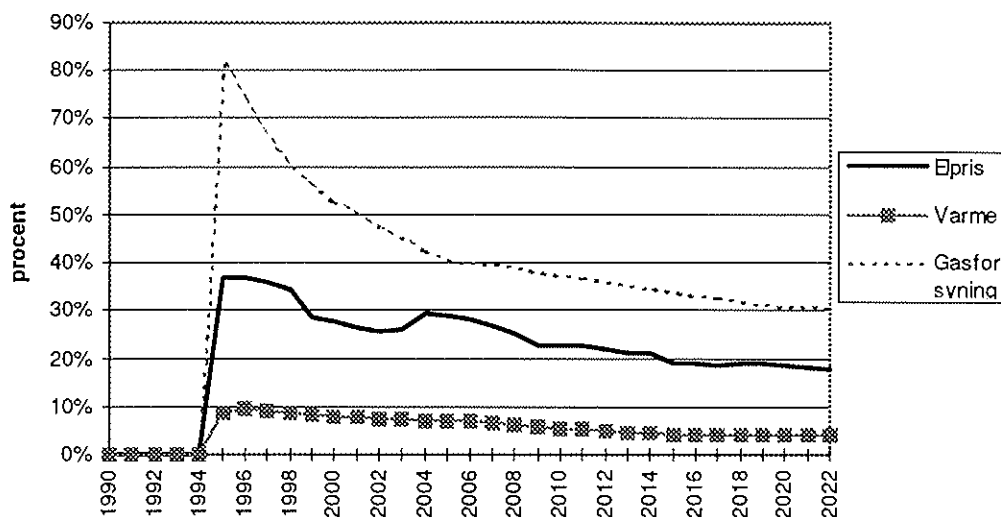
Indenfor de tekniske substitutionsmuligheder er man således kommet næsten så langt som muligt med brændselssubstitution for at opnå CO<sub>2</sub> reduktion. Der er dog stadig mulighed for en større gasanvendelse og erstatning af kul med fuelolie, men dette er ikke økonomisk fordelagtigt for værkerne og den potentielle reduktion herved er ikke af noget videre omfang.

### 8.1.3 Afgiftens betydning for prisen på forsyningssektorens produkter

En CO<sub>2</sub> afgift påvirker forsyningssektorens outputpriser forskelligt og på trods af den stigende afgift fra 200 til 400 kr. pr. ton CO<sub>2</sub> er der endvidere en aftagende påvirkning af outputprisen over tid som gengivet i Figur 8.3. Den aftagende påvirkning skyldes både stærkere stigning i basispris på brændsel end stigningen i afgiften, men brændselssubstitutionen afbøder samtidig noget af prisstigningen på brændslet.

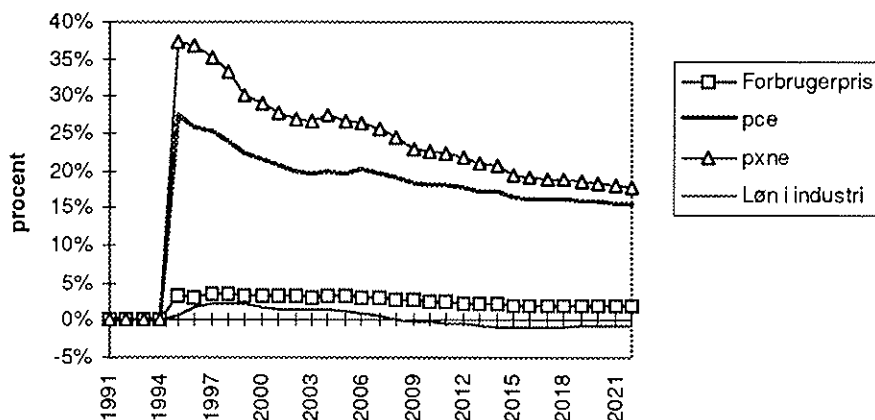
Den største effekt er realiseret på gasprisen, hvilket hænger sammen med den umiddelbare sammenhæng mellem gaspris fra Nordsøen inkl. afgift og outputprisen i gasforsyningssektoren. Ved en så stor afgift må man forvente at gennemslaget på gasforsyningssektorens pris bliver mindre og under alle omstændigheder politisk bestemt.

Den større andel af faste omkostninger for el og specielt varmeproduktion medfører et meget mindre gennemslag på el- og varmeprisen.



**Figur 8.3 Ændring af forsyningssektorens priser ved en afgiftsforhøjelse**

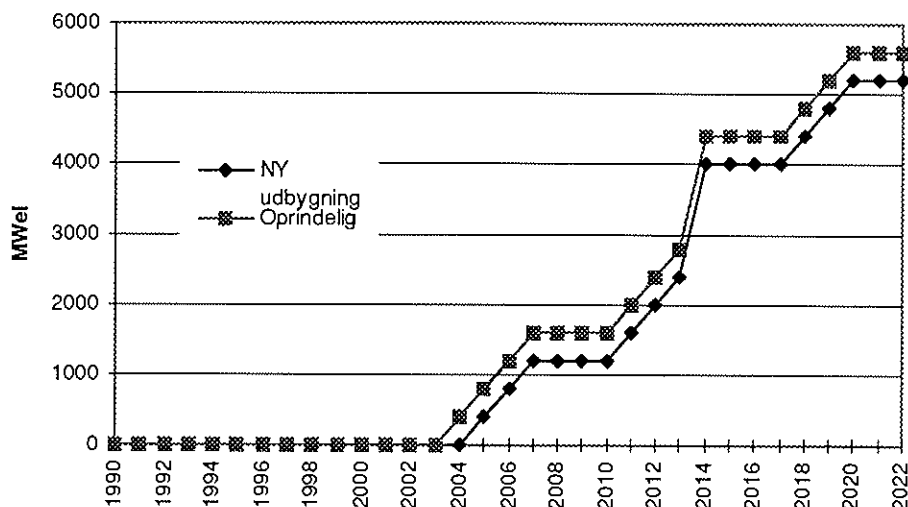
Den sammenvejede pris for forsyningssektorens produktion ( $pxne$ ), som overføres til ADAM er vist i nedenstående Figur 8.4, som også viser udviklingen i brændselspris for private forbrugere ( $pce$ ), den samlede forbrugerpris ( $pcp$ ) og løn i industri ( $lna$ ). Figuren viser også her ændringer i forhold til referencen.



**Figur 8.4 Påvirkning af forsyningspris og forbrugerpriser i ADAM**

Den umiddelbare effekt på forbrugernes brændselspris er lidt mindre end outputpriserne for forsyningsprodukterne, men på lang sigt er påvirkningen nogenlunde ens. Den samlede forbrugerpris stiger med omkring 3%, hvilket via en stigning i lønnen, ligeledes gengivet i figuren, er den væsentligste årsag til en negativ påvirkning af økonomien som følge af den ekstra CO<sub>2</sub> afgift.

### 8.1.4 Fald i el- og varmeefterspørgsel fører til mindre udbygning

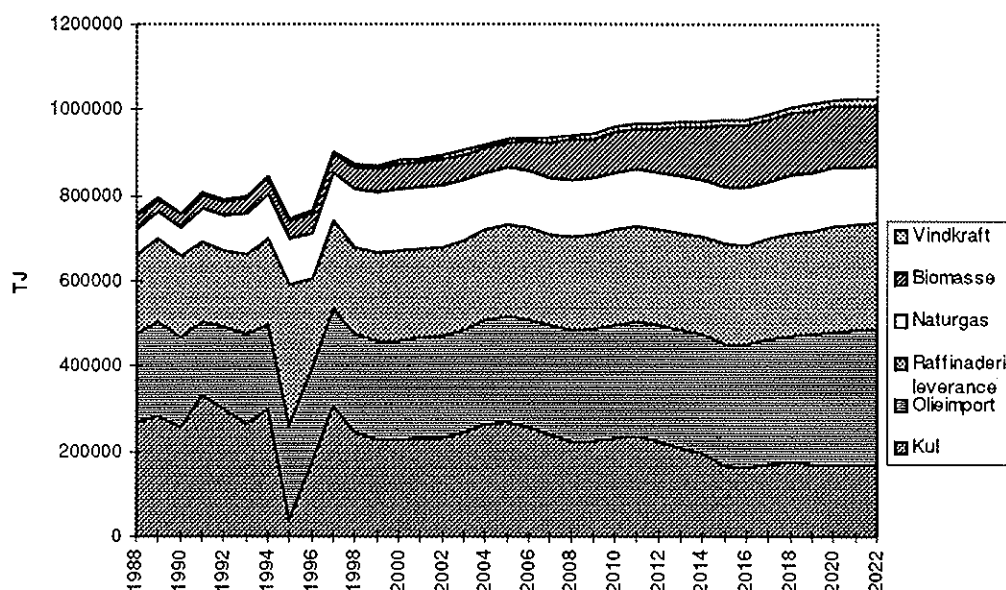


*Figur 8.5 Udbygning med centrale kraftvarmeværker*

Som følge af prisstigningerne på forsyningssektorens produktion falder efterspørgselen for el, hvormed udbygningsbehovet mindskes som vist i Figur 8.5. Udbygningen med et værk (400 MW) i 2004 falder bort, således at kapaciteten fra 2004 og perioden ud er 400 MW lavere end i referencen.

Efterspørgselsfaldet stammer næsten udelukkende fra et fald i erhvervenes elforbrug, da prisfølsomheden i husholdningernes elforbrug med apparatmodulets bestemmelse af elforbruget er meget lav.

### 8.1.5 Ændring i energiforbrugets sammensætning



Figur 8.6 Bruttoenergiforbruget opgjort fra ADAM fordelt på brændsler

Bruttoenergiforbruget udviser nogle kraftige forskydninger mellem brændsler forårsaget bl.a. af skiftet i 1995 fra kul til olie og tilbage til kul i 1996.

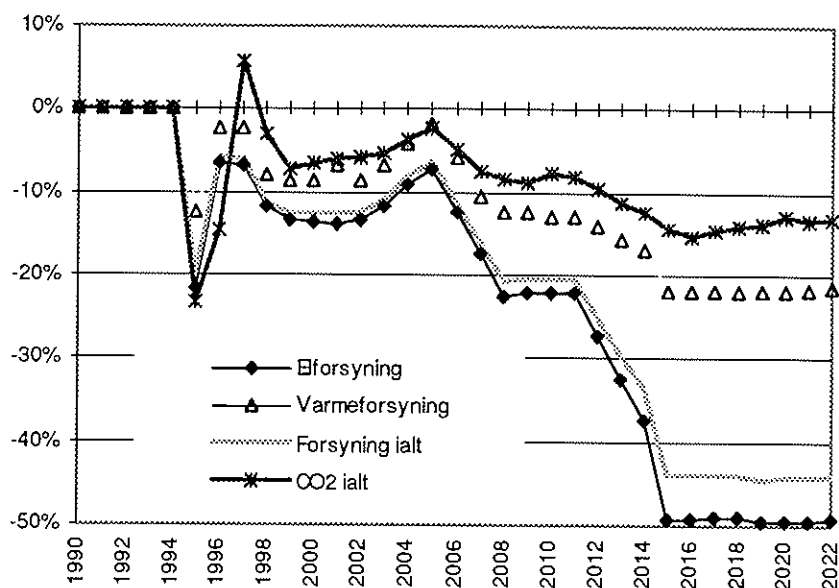
I afgiftsforløbet er det primært biomasseanvendelsen som vokser kraftigt, men også olieimport og raffinaderileverance er stigende. Anvendelsen af kul falder som det eneste brændsel med omkring 40% i forhold til dagens niveau og med 30% i forhold til referencen.

Tabel 8.1 Bruttoenergiforbruget relativt til referenceforløb

år	2000	2010	2020
Bidrag fra forsyningssektorens bruttoenergiforbrug	-2%	-1%	-1%
Øvrige erhverv og anvendelsers bruttoenergiforbrug	-2%	-2%	-1%
Samlet bruttoenergiforbrug	-4%	-3%	-2%

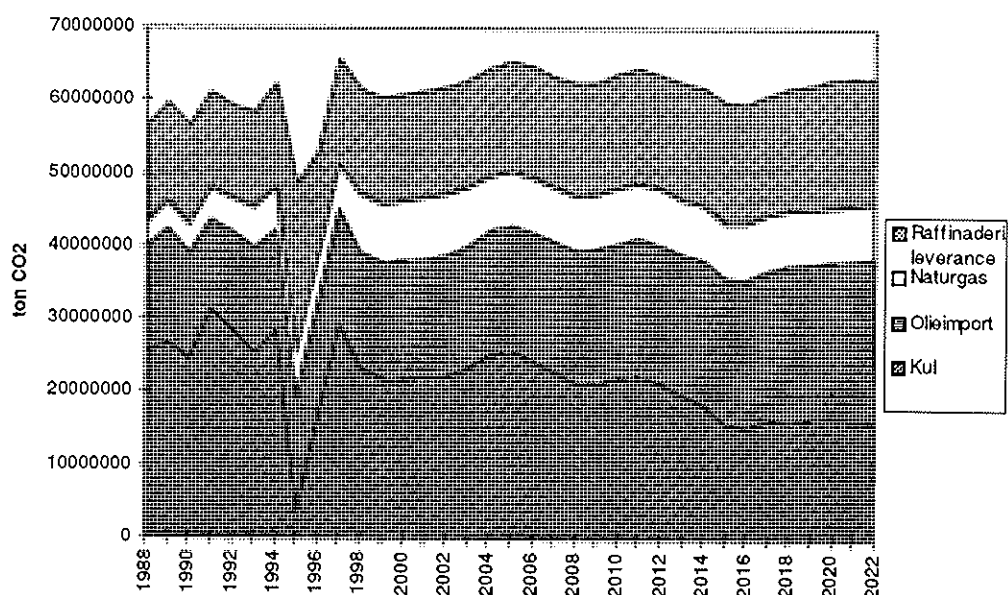
### 8.1.6 CO<sub>2</sub> reduktion

Forsyningssektorens CO<sub>2</sub> reduktion er ved en afgift som den her benyttede af et meget betydeligt omfang. Emissionen fra elproduktion omtrent halveres, hvorimod virkningen for varmeproduktionens emission er af et mindre omfang.



Figur 8.7 Forsyningssektorens CO<sub>2</sub> emission, reduktion i forhold til reference

Fra bruttoenergiforbruget gengivet i Figur 8.6 kan emissionerne fordelt på brændsler opgøres. Figur 8.8 illustrerer, at selv med en afgift af denne størrelse er det kun muligt at stabilisere emissionerne. Næsten hele reduktionen (relativt til referencen) i dette forløb opnås ved en mindskning af kulanvendelsen, hvorimod specielt anvendelsen af olieprodukter fortsat stiger og modvirker emissionsreduktionen fra kulanvendelsen.



Figur 8.8 CO<sub>2</sub> emissioner fordelt på brændsel

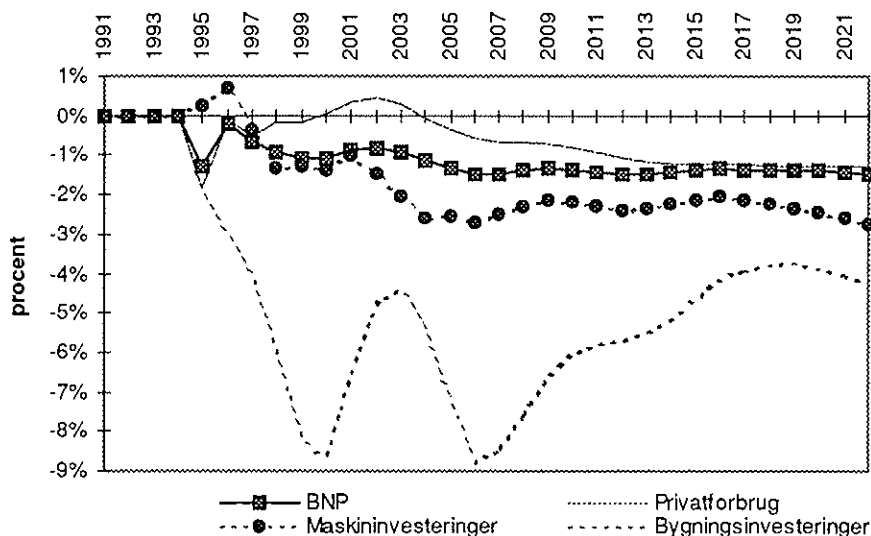
**Tabel 8.2 Reduktion af CO<sub>2</sub> emission relativt til referenceforløb**

Reduktion for år	2000	2010	2020
Forsyningssektorens reduktion af samlet emission	5%	7%	13%
Øvrige erhverv og anvendelsers reduktion	1%	1%	0%
Samlet reduktion	6%	8%	13%

Reduktionen foregår på lang sigt således udelukkende i form af brændselsomlægninger i forsyningssektoren, idet dog usikkerheden ved opgørelsesmetoden fra tilgangssiden i ADAM er af et par procent-points størrelse.

### 8.1.7 Makroøkonomiske implikationer

Der er naturligt nok stor interesse omkring de makroøkonomiske konsekvenser af en CO<sub>2</sub> afgift, men det må pointeres at konsekvenserne i meget høj grad relaterer sig til egenskaber i makrodelens af modelsystemet, og specielt de antagelser som gøres omkring afgiftstilbageførsel. Endvidere er antagelser om langsigtstilpasninger af lønnen afhængig af handels- og betalingsbalanceudviklingen af stor betydning.



**Figur 8.9 Makroøkonomiske konsekvenser af en ekstra CO<sub>2</sub> afgift**

De makroøkonomiske konsekvenser af en CO<sub>2</sub>-afgift er i dette forløb en reduktion på 1% af BNP. Denne effekt fremkommer primært gennem en konkurrenceevneforværring, fremkaldt af både stigende energiomkostninger i produktionen og specielt af stigende lønomkostninger i de første mange år efter indførelsen af den ekstra afgift. Den positive effekt på privatforbruget på det mellemlange sigt beror primært på lønstigningen.

Et BNP tab i størrelsesorden 1% i sammenhæng med en reduktion på 13% af CO<sub>2</sub> emissionen må ses i sammenhæng med et relativt ufleksibelt arbejdsmarked i ADAM. Således kompenserer lønomkostningerne ikke for konkurrenceevnetab fra omkostningsforøgelsen på energisiden, hvilket ofte er antagelsen i andre beregninger af makroøkonomiske afgiftskonsekvenser.

Både bygnings- og maskininvesteringerne påvirkes direkte fra mindskede investeringer i kapacitet i forsyningssektoren og indirekte via en reduktion i dansk produktion stammende fra konkurrenceevneforværringen.



### 8.1.8 Resultater uden apparat- og varmemodul

Hvis istedet den sædvanlige ADAM-bestemmelse af privatforbrug af brændsel i husholdningerne bibeholdes fremfor Hybris apparat- og varmemoduler, vil reduktionen i CO<sub>2</sub> emission blive en anelse større.

Dette hænger selvfølgelig sammen med en større prisreaktion hos husholdningerne, idet privatforbruget af brændsel på kort til mellemlang sigt reduceres med knap 10% i forhold til afgiftskørselen med apparat- og varmemodulet.

**Tabel 8.3 Reduktion af CO<sub>2</sub> emission relativt til referenceforløb uden apparatmodul**

Reduktion for år	2000	2010	2020
Forsyningssektorens reduktion af samlet emission	6%	7%	14%
Øvrige erhverv og anvendelsers reduktion	3%	2%	1%
Samlet reduktion	9%	9%	15%

En del af reduktionen som tilskrives forsyningssektoren i tabellen ovenfor bør henføres til en reduktion af de endelige energiforbrug. Således bør hele forskellen i samlet CO<sub>2</sub> reduktion mellem Tabel 8.2 og Tabel 8.3 henføres til en reduktion i husholdningernes brændselsforbrug. En betydelig del af husholdningernes reduktion af endeligt energiforbrug er el og varme, der i tabellen ovenfor giver en reduktion i forsyningssektorens emission.

Det er specielt på kort sigt at reduktionen af CO<sub>2</sub> er større ved at anvende ADAM bestemmelsen af privatforbrug af brændsel fremfor bestemmelsen i vore apparat- og varmemoduler. På kort sigt er reduktionen en halv gange større med ADAM bestemmelsen, og det er op mod halvdelen af emissionreduktionen, som kan tilskrives et fald i det endelige energiforbrug. Dermed giver ADAM noget større reduktion af CO<sub>2</sub> emission med de samme omkostninger målt på BNP i forhold til at anvende vores bottom up bestemmelse.

Dette resultat fremkommer dog kun, fordi der ikke er indlagt målrettede tiltag til reduktion af husholdningernes energiforbrug, som det vil blive gjort i et af de øvrige forløb nedenfor.

## 8.2 Omlægning af forsyningssystemet

Omlægning af forsyningssystemet vil ofte være vanskeligt at belyse i en makrosammenhæng. Her er der foretaget en sådan massiv omlægning mod et mindre miljøbelastende forsyningssystem. Omlægningerne er kun foretaget indenfor el- og varmeproduktion, og der er således ikke inddraget nogen omlægninger eller udvidelser af varme og naturgasnettene.

De væsentligste antagelser i forsyningsforløbet er

- Massiv udbygning med vind dvs. 100 MW pr. år frem til 2005 og 50 MW pr. år fra 2006 og frem
- Biomasseanvendelse i hovedparten af nye centrale kraftvarmeværker herunder en tvungen 50% biomasseanvendelse
- Centrale kraftværker, der har mulighed for naturgasfyring, skal køre med naturgas
- Biomasseandel på udbygningen med decentral kraftvarme er 100% fra år 2000
- Kraftvarmeandel af den samlede varmeproduktion stiger hurtigere op til 98% af den samlede fjernvarmeefterspørgsel i 2005.

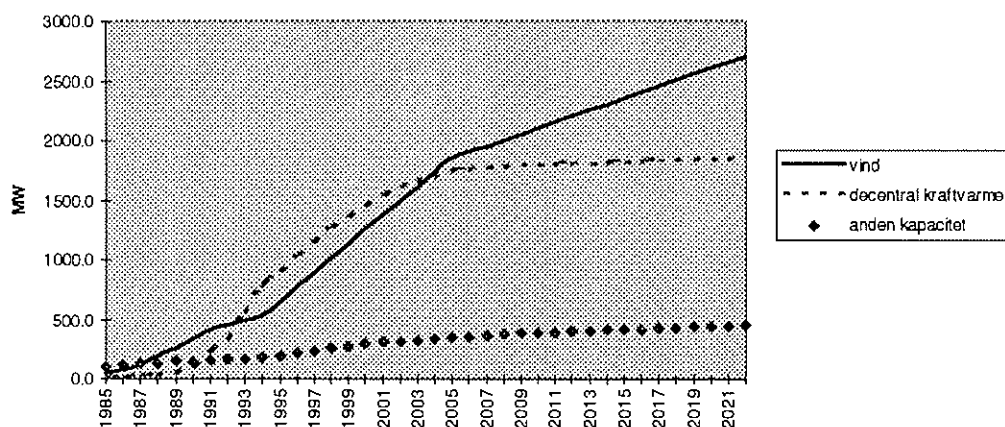
- Fjernvarmeproduktion baseres 100% på biomasse fra 2000
- Der indlægges ingen ændringer for teknologiparametre i øvrigt
- Der er ingen ændringer af forventninger til anlægsmkostninger for de forskellige elproduktionsteknologier
- Forløbet indeholder heller ingen ændringer på efterspørgselssiden eller i varmemodulet

Resultaterne af dette forløb bliver overordnet set

- Brændselsomlægning og vindudbygning giver højere elpriser, men den samlede påvirkning af energiefterspørgselen via forsyningssektorens pris er kun af et mindre omfang.
- Forsyningsomlægninger genererer omtrent samme CO<sub>2</sub> reduktion i forsyningssektoren, som der opnås i afgiftsforløbet, mens reduktionerne fra de øvrige anvendelser af energi er mindre end i afgiftsforløbet.
- Der opnås en samlet CO<sub>2</sub> reduktion på omkring 12%.
- De makroøkonomiske konsekvenser af forsyningsomlægningen er positive, men meget små.

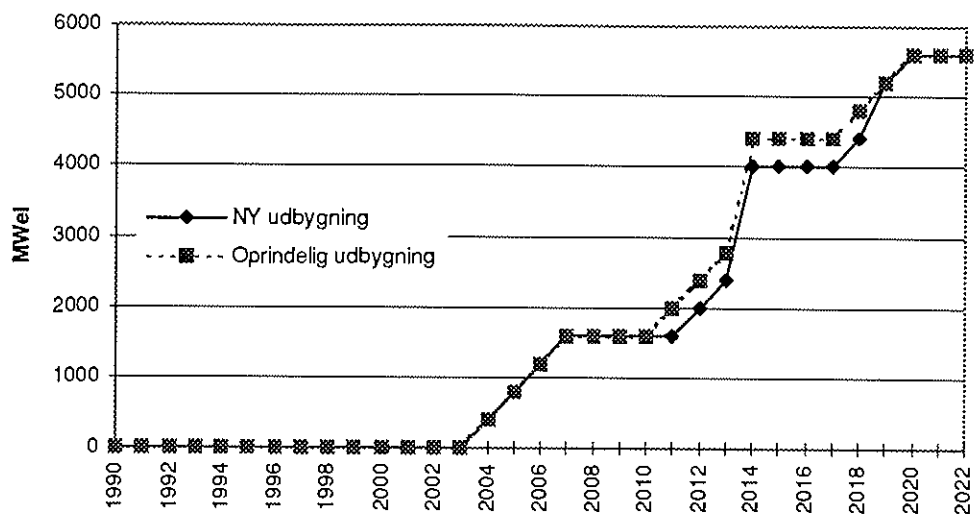
### 8.2.1 Udbygning af elkapacitet

Der er i dette forløb antaget at foregå en betydelig satsning på vedvarende energi. Udbygningen med vind og decentral kraftvarme er gengivet i Figur 8.10. Det er kun udbygningen med vind som forøges i dette forløb, idet vindudbygningen foregår med 100 MW pr. år fra 1995 til 2005 og herefter med 50 MW pr. år fra 2006 til 2022. Den samlede vindkapacitet forøges således i både 2005 og 2020 med ca. 50% i forhold til referencen.



Figur 8.10 Udbygning af vind og decentral kraftvarme i forsyningsforløbet

Den centrale elkapacitet udbygges næsten som i referencen, da kapacitetsværdien af vindudbygningen er sat til 25%, og virkningen på efterspørgselen af forsyningsomlægningen ikke er af et større omfang.

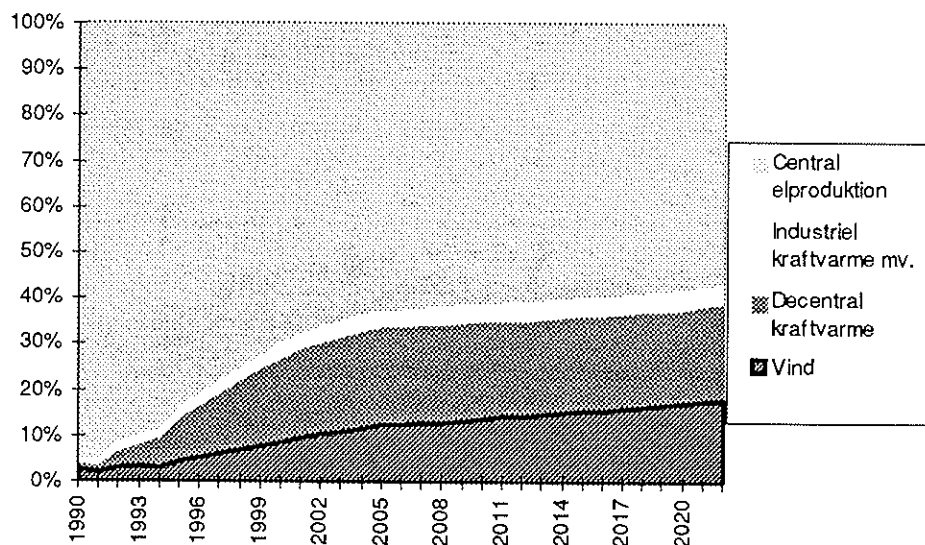


**Figur 8.11 Central udbygning af elkapacitet i reference- og forsyningsforløb**

### 8.2.2 Omlægninger for varmeproduktion og decentrale kraftvarmeverker

Andelen af den samlede fjernvarmeefterspørgsel, som leveres fra kraftvarme, forøges i forhold til referencen. Andelen stiger i forsyningsforløbet fra 68% i 1995 til 98% i 2005, hvorefter den er konstant.

På decideret fjernvarmeproduktion sker der omlægning mod 100% biomassebaseret produktion, hvilket er muligt uden ekstra investeringer, når omlægningen mod kraftvarme ovenfor tages i betragtning. I løbet af ganske få år er de fjernvarmeverker, som ikke kører på biomasse, overflødige.



**Figur 8.12 Elproduktionens fordeling i forsyningsforløbet**

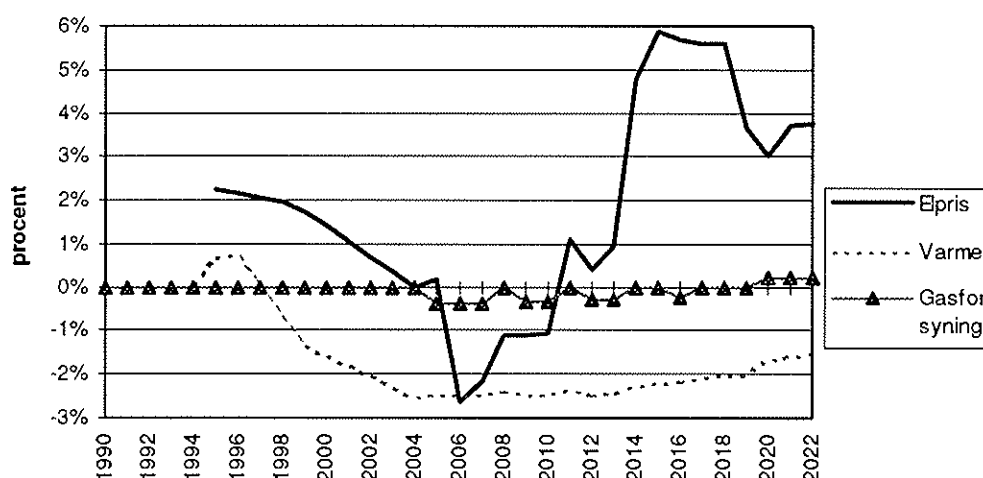
Elproduktion ved decentral kraftvarme og vind opnår en større andel af produktionen i dette forsyningsforløb (godt 40%) end i referencen, hvor andelen er på ca. 35%.

### 8.2.3 Virkningen af forsyningsomlægningen på priserne

Omlægningen af forsyningssystemet indebærer flere påvirkninger af prisdannelsen for specielt elprisen, men også varmeprisen.

- Forøget vindkraftudbygning giver forøgede henlæggelser og afskrivninger i elsektoren, idet reduktionen af central eludbygning ikke modsvarer vindkraftudbygningen.
- Brændselsomlægningen mod biomasse forøger brændselsomkostningerne til både el- og varmeproduktion.

Den forøgede vindkraftproduktion giver et fald i brændselsforbruget til elproduktion.



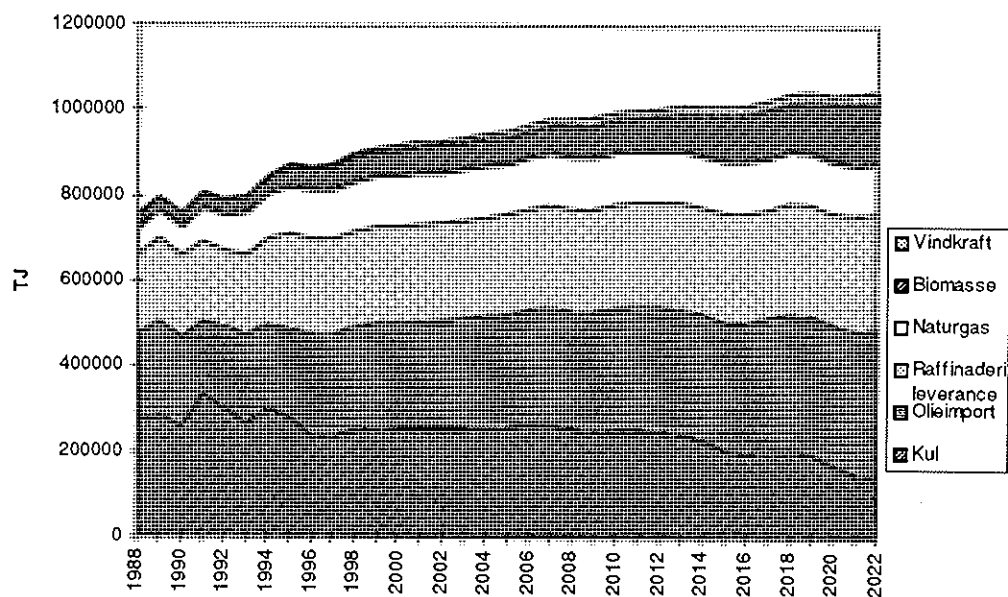
*Figur 8.13 Forsyningssektorens priser relativt til referencen*

Elpriserne reagerer som forventet mest på omlægningerne, men også for varmeprisen er der en reaktion. Elpriserne bliver højere end i referencen som følge af forøgede kapitalomkostninger i starten af perioden. Reduktionen i elprisen midt i perioden skyldes den forsinkede centrale kapacitetsudbygning og mindskede brændselsomkostninger. Fra 2010 er elprisen igen højere end i referencen, hvilket er en følge af specielt omlægningen af brændselsforbruget mod den dyrere biomasse.

Varmeprisen mindskes i forhold til referencen som en følge af mindsket brændselsforbrug ved den hurtigere og mere massive omlægning til kraftvarme.

### 8.2.4 Bruttoenergiforbruget

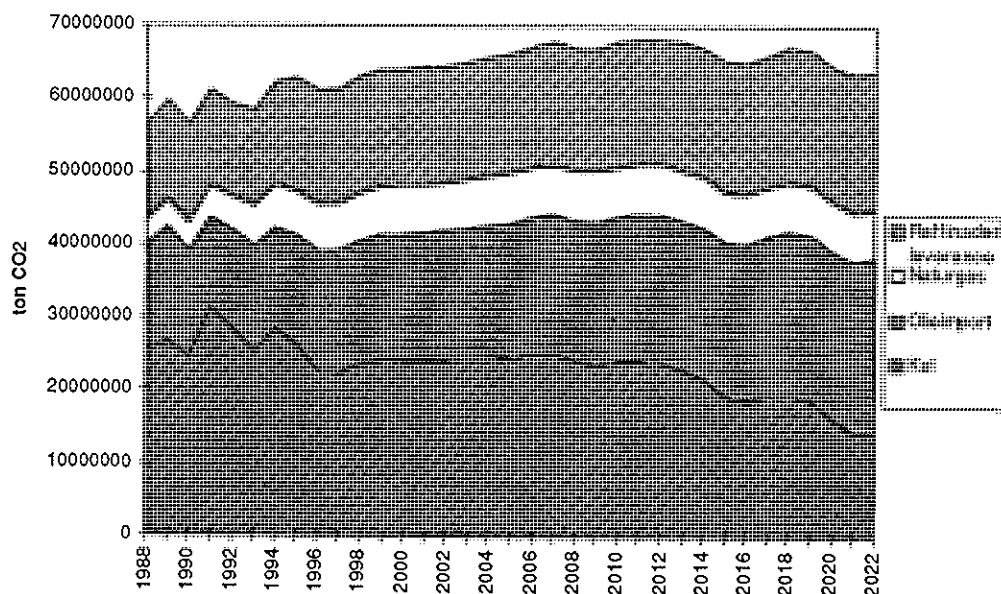
Bruttoenergiforbruget er næsten uændret i forhold til referencen, men der er sket en betydelig omlægning af forbruget mellem energityperne. Af *Figur 8.14* fremgår omlægningen fra kul og over mod vindkraft og biomasse, mens naturgasforbruget er nogenlunde uændret og forbruget af forarbejdede olieprodukter fra raffinaderier og import fortsat stiger kraftigt.



Figur 8.14 Bruttoenergiforbruget i forsyningsforløbet

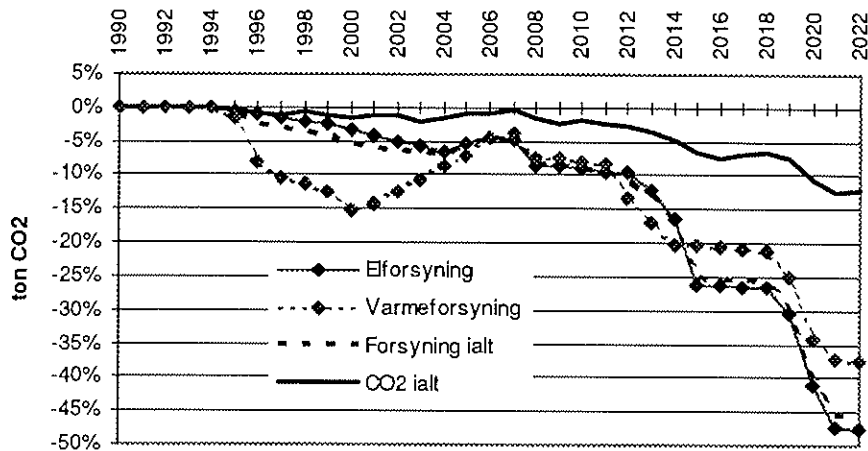
### 8.2.5 CO<sub>2</sub> emission og reduktion i forsyningsforløbet

Den væsentligste CO<sub>2</sub> reduktion i forsyningsforløbet stammer fra brændselsomlægningen på de centrale kraftvarmeværker fra kul til den maksimale biomasseandel på 50%. Reduktionerne kommer således først i takt med ibrugtagningen af de nye multifuelværker efter 2005.



Figur 8.15 CO<sub>2</sub> emission fordelt på brændsler

Reduktionen i forhold til referencen bliver således først af en mærkbar størrelse fra omkring 2015. Dog er der i forsyningsforløbet en mærkbar reduktion af emissionen fra varmeproduktion allerede i de første år som følge af den meget hurtige omlægning mod kraftvarme.

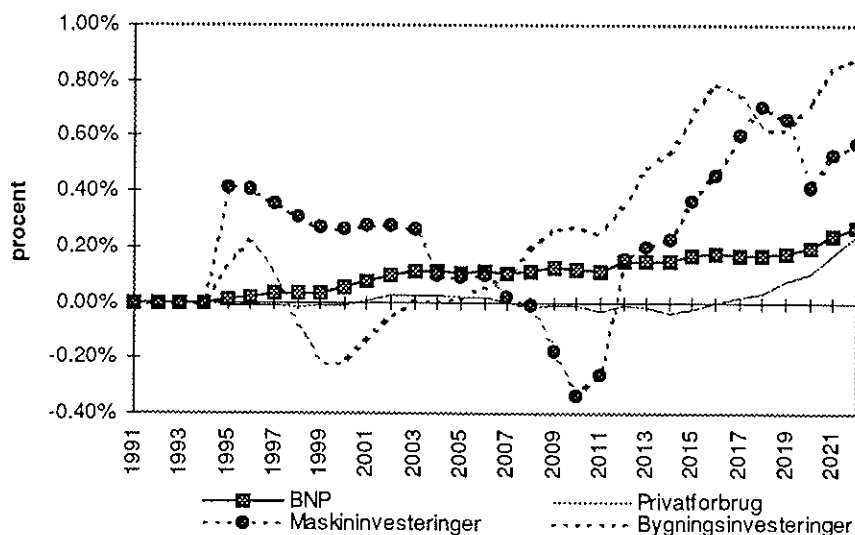


**Figur 8.16 Reduktion af CO<sub>2</sub> emission i forhold til referencen**

Når forsyningssektorens reduktion sammenlignes i forsyningsforløbet og i afgiftsforløbet, er det bemærkelsesværdigt ens reduktioner der opnås. Dette skyldes, at brændselsomlægningen på de centrale kraftvarmeværker er den samme i de to forløb. Biomasse kommer ind med 50% på de nye værker i begge forløbene henholdsvis ved en økonomisk omkostningsminimering i afgiftsforløbet og ved en direkte regulering i forsyningsforløbet.

### 8.2.6 Virkninger på økonomien af forsyningsomlægningen

En omlægning af forsyningssystemet vil have påvirkninger af økonomien via flere kanaler, hvoraf de væsentligste er investeringernes påvirkning af priserne som følge af ændrede omkostninger i el- og varmeproduktionen.



**Figur 8.17 Ændring af økonomiske størrelser i forhold til referenceforløbet**

Påvirkningen af økonomien er ved denne omlægning af forsyningssystemet ikke specielt stor, men det må bemærkes at påvirkningen er positiv målt på BNP ved en omlægning, der reducerer CO<sub>2</sub> emissionerne med 12% i forhold til referencen.

Den positive effekt stammer fra investeringerne, hvorimod privatforbruget gennem perioden er så godt som uændret.

### **8.3 Ændringer på efterspørgselssiden**

Dette scenarie opstilles for at illustrere de reguleringer og administrative tiltag, der kan belyses i modelsystemet Hybris. Tiltagene knytter sig både til forhold i husholdningernes elforbrug (normer for elapparater), husholdningernes varmebehov (faldende enhedsforbrug) og erhvervenes energieffektivitet.

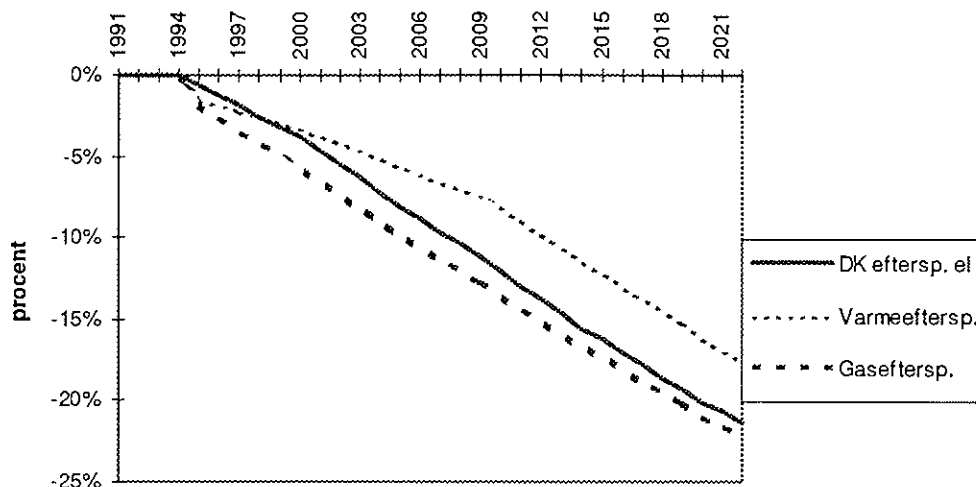
#### **8.3.1 Tiltag og ændrede antagelser på efterspørgselssiden**

De tiltag som er medtaget i normforløbet er:

- Forbedret energieffektivitet for nye generationer af elapparater. Effektiviteten stiger med gennemsnitligt ca. 2½% om året mod gennemsnitligt 1½% om året i referenceforløbet.
- Indførelse af normer for elforbruget i husholdningernes apparater medfører, at den effektivitetsmæssige dårligste halvdel af elapparaterne er forsvundet fra markedet omkring år 2005.
- Energieffektiviteten i erhvervene antages som en følge af en række tiltag at forbedres med 2% om året mod 1.2% om året i referencen.
- Isoleringstiltag f.eks. ændringer i bygningsreglement fører til en hurtigere reduktion i enhedsforbruget til boligers opvarmning. Enhedsforbruget falder med 2% om året mod 1% om året i referencen.
- Fjernvarmetilslutningen forøges så 65% af varmebehovet dækkes af fjernvarme i år 2010.
- Elvarme reduceres fra 4% af varmebehovet i referencen til 2% i normforløbet. Resten af omlægningen til fjernvarme formindsker anvendelsen af flydende brændsel.

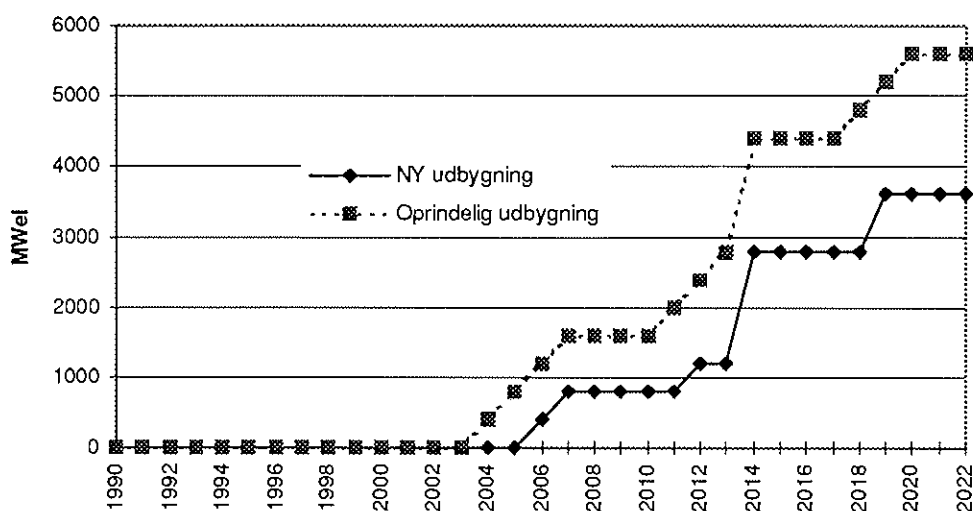
#### **8.3.2 Konsekvenser for efterspørgsel efter forsyningssektorens produktion**

De forskellige tiltag på efterspørgselssiden er mere eller mindre målrettede mod forsyningsprodukterne el og varme. Fra apparatmodellen fås reduktioner af elforbruget, mens varmemodulet giver en reduktion af det samlede opvarmningsbehov og en forskydning mod fjernvarme. Erhvervene reducerer forbruget af alle energiarterne som følge af den generelle forbedring af energieffektiviteten. Der indgår derfor en lang række påvirkninger af efterspørgselen efter forsyningssektorens produkter, og det er ikke givet, for hvilket forsyningsprodukt reduktionerne vil blive størst.



**Figur 8.18 Normforløbets reduktion af efterspørgsel for el, varme og naturgas**

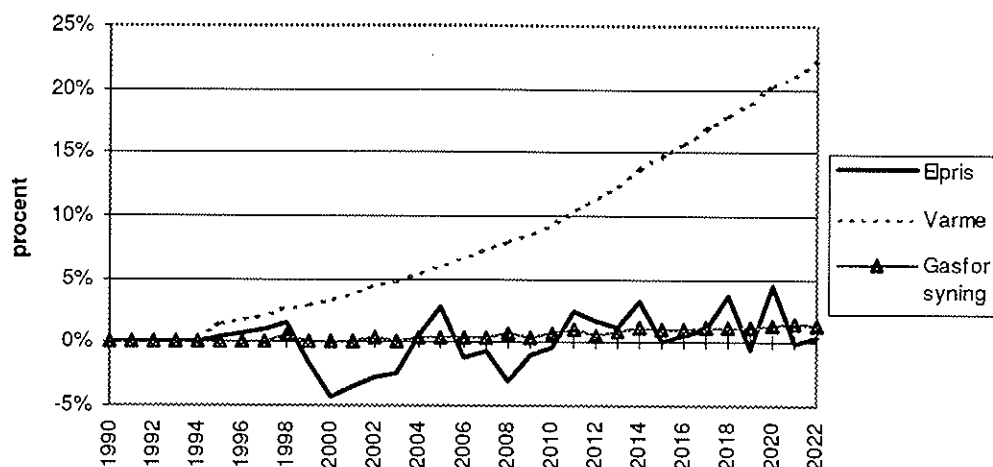
Med de tiltag, som er introduceret i normforløbet i husholdningernes energiforbrug til elektriske apparater og opvarmning samt i erhvervenes energieffektivitet, opnås en efterspørgselsreduktion på omkring 20% for de tre komponenter. Reduktionen af efterspørgsel medfører et noget lavere udbygningsbehov for elproduktionskapacitet som gengivet i Figur 8.19.



**Figur 8.19 Formindsket udbygningsbehov i elproduktion**

Det er væsentligt at bemærke, hvorledes tiltag på efterspørgselssiden som i dette normforløb reducerer omlægningsmulighederne i forsyningssektorens brændselsvalg, hvis kapacitetsudbygningen antages alene at følge efterspørgselen efter el. Der er i dette forløb en meget betydelig påvirkning af forsyningssystemet fra efterspørgselssiden, hvilket igen har konsekvenser for prisdannelsen på el.





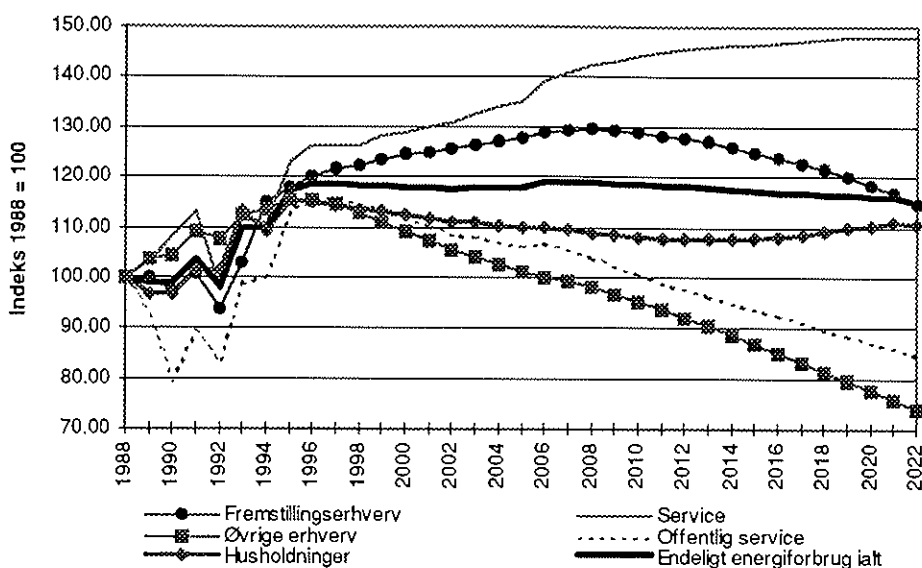
*Figur 8.20 Normforløbets påvirkning af forsyningssektorens priser*

Elpriserne er i første del af perioden frem til 2010 lavere, da udbygningsbehovet og dermed henlæggelsesbehovet er væsentligt lavere end i referencen. Til gengæld er elprisen højere end i referencen i den sidste del af fremskrivningen fra 2010. Dette skyldes at elefterspørgselen her er væsentligt lavere end i referencen og faste omkostninger samt henlæggelser skal bæres af et lavere elforbrug.

Varneprisen er gennem hele fremskrivningen højere end i referencen og den voksende forskel følger ret nøje det fald i varmeefterspørgselen, som kan iagttages i Figur 8.18. Det er her den høje vægt af faste omkostninger i prisdannelsen som spiller ind og giver højere omkostninger pr. produceret enhed.

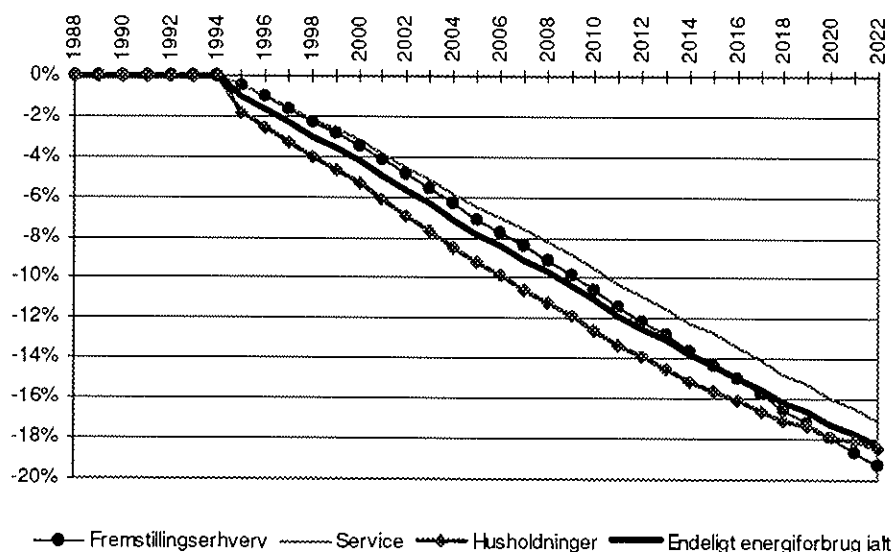
### 8.3.3 Endeligt energiforbrug og bruttoenergiforbrug

Dette forløb indeholder en række betydelige tiltag på efterspørgselssiden. Der opnås en stabilisering af det endelige energiforbrug, som gengivet i Figur 8.21. Der er fortsat meget stor forskel på udviklingen i energiforbrug i de forskellige erhverv og anvendelser. De effektivitetsforbedringer som er indlagt for serviceerhvervene er således ikke tilstrækkelige til at få vendt stigningstakten i disse erhvervs energiforbrug. Derimod er der i dette forløb et direkte fald i husholdningernes endelige energiforbrug som både indeholder brændselsforbrug og benzin og olie til køretøjer.



**Figur 8.21 Endeligt energiforbrug i normforløbet opgjort på basis af energiforbrug i faste priser**

Der opnås i normforløbet en reduktion af energiforbruget i alle erhverv og anvendelser som er af næsten samme størrelse og voksende over tid. Det er husholdningerne som opviser den største reduktion i endeligt energiforbrug. Reduktionen er dog ikke meget større end for de øvrige efterspørgselskategorier, hvilket bla. skyldes at forbruget af transportbrændstof i husholdningerne medtages under husholdningernes energiforbrug og samtidig ikke er underlagt regulering i dette normforløb..



**Figur 8.22 Reduktion i endeligt energiforbrug i forhold til referencen**

Ved opgørelse af bruttoenergiforbruget tages der udgangspunkt i andre ADAM størrelser end for det endelige energiforbrug. Bruttoenergiforbruget opgøres fra ADAMs tilgang af brændsler og fra forsyningsmodulets opgørelse af anvendelse af biomasse og vindkraft. Det kunne have været forventet at bruttoenergiforbruget var reduceret med samme størrelse som endeligt energiforbrug, da der ikke er brændselsomlægninger i

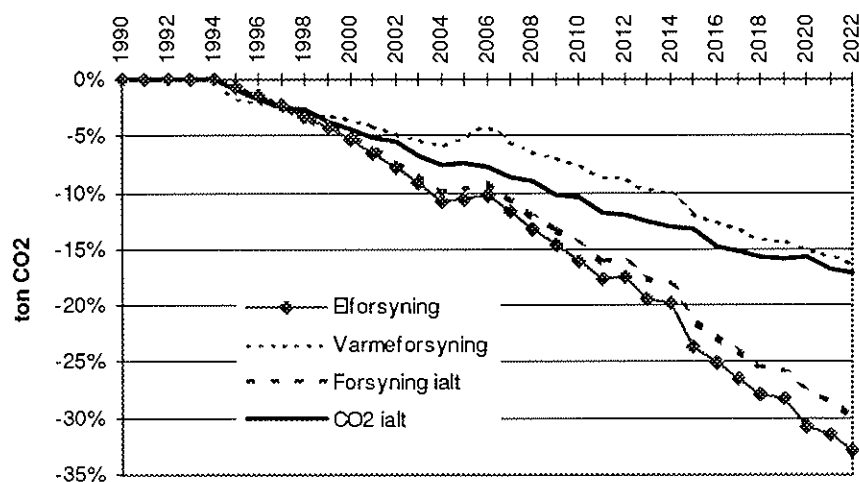
forsyningssektoren i normforløbet, men reduktionen af bruttoenergiforbruget er som det fremgår af Tabel 8.4 med den anvendte opgørelsesmetode mindre end reduktionen i endeligt energiforbrug.

**Tabel 8.4 Bruttoenergiforbruget i normforløbet relativt til referenceforløb**

år	2000	2010	2020
Bidrag fra forsyningssektorens bruttoenergiforbrug	-1%	-4%	-6%
Bidrag fra øvrige erhvervs og anvendelsers bruttoenergiforbrug	-3%	-5%	-8%
Samlet bruttoenergiforbrug	-4%	-9%	-14%

### 8.3.4 Reduktion af CO<sub>2</sub> emission

De tiltag som anvendes for energibesparelser i dette normforløb er hovedsageligt rettet mod besparelser i det endelige energiforbrug og er ikke rettet mod omlægninger af energianvendelsen mod andre brændsler. Det må derfor forventes, at reduktionen af CO<sub>2</sub> emission nogenlunde vil følge reduktionen af bruttoenergiforbruget.



**Figur 8.23 CO<sub>2</sub> reduktion i forhold til referencen for forsyningssektor og samlet CO<sub>2</sub> emission**

Reduktionen er størst i forsyningssektoren, men dette er et resultat af fald i efterspørgsel efter el og varme. Forsyningssektorens emission reduceres mere end emission fra energiforbrug andre steder, da det marginale brændsel til elproduktionen er kul.

**Tabel 8.5 Reduktion af CO<sub>2</sub> emission i normforløbet relativt til referenceforløb**

Reduktion for år	2000	2010	2020
Forsyningssektorens reduktion af samlet emission	2%	5%	8%
Øvrige erhverv og anvendelsers reduktion	2%	5%	8%
Samlet reduktion	4%	10%	16%

Emissionsreduktionerne øges gradvis, hvilket hænger sammen med at en række af tiltagene i dette scenarie er gennemført i form af effektivitetsforbedrende tiltag.

Halvdelen af reduktionen kan henføres til forsyningssektoren, idet der hovedsagelig er tale om en reduktion forårsaget af fald i det endelige energiforbrug.

Emissionen reduceres en anelse mere end bruttoenergiforbruget i Tabel 8.4 som en følge af større reduktion af kulforbrug end af andre brændsler.

## 8.4 Lavvækst og stigende energipriser

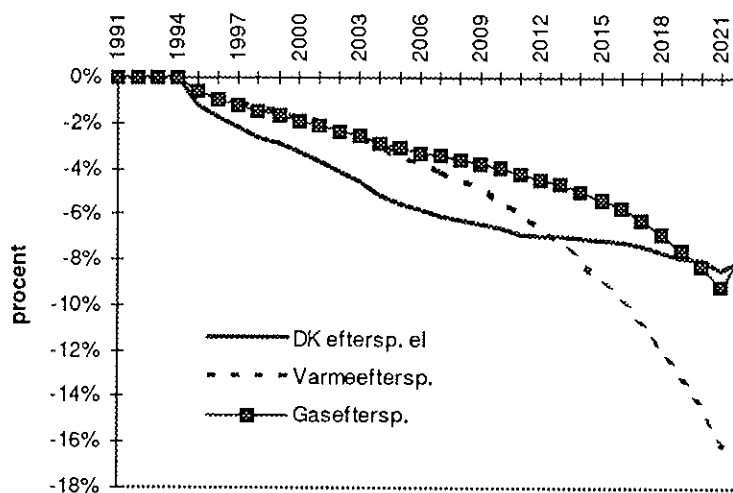
Dette scenarie skal illustrere mulighederne i Hybris for at belyse konsekvenserne for forsyningssystemet og for energiforbrug af ændrede økonomiske forudsætninger for vækst og energipriser.

Økonomiforløbet indeholder:

- Offentlig beskæftigelse holdes uændret gennem hele fremskrivningsperioden
- Vækstrater på eksportmarkederne sænkes med 3/4 % og produktion i udvindingserhvervet holdes uændret i fremskrivningen
- Energipriserne i reale termer øges med 25% i hele fremskrivningen.
- Vækstraten i BNP reduceres hermed med knap ½ % på årsbasis

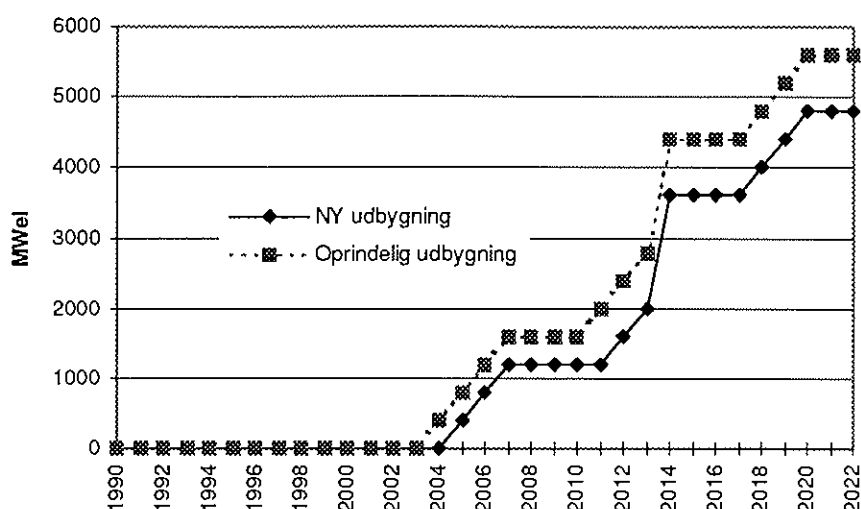
### 8.4.1 Påvirkning af forsyningssystemets efterspørgsel, kapacitetsudbygning og priser

Umiddelbart er effekten på forsyningsprodukterne el, gas og varme et større fald end illustreret nedenfor i Figur 8.24. Faldet i efterspørgsel og dermed nødvendig udbygning udløser et prisfald på forsyningsprodukterne, hvilket igen fører til en stigning i efterspørgselen. Faldet i efterspørgsel efter forsyningsprodukter er således mindre end for de øvrige energivarer.



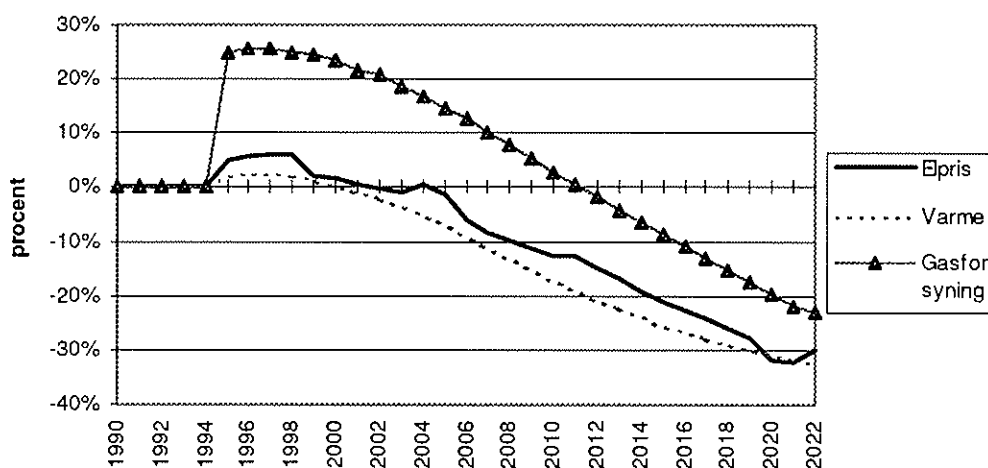
Figur 8.24 Økonomiforløbets forsyningsefterspørgsel relativt til referencens

Det større fald i varmeefterspørgsel end for el og naturgas hænger sammen med varmemodules afhængighed af boligstok og dermed boliginvesteringer i ADAM.



**Figur 8.25 Reduceret udbygning af elproduktionskapacitet**

Den lavere efterspørgsel reducerer udbygningsbehovet med to kraftværksblokke a 400 MW. Dette er en af årsagerne til det lavere prisniveau for el, mens en langsommere udvikling i ADAM's investeringsprisindeks og BFI deflator er en yderligere forklaring på de lavere forsyningspriser.

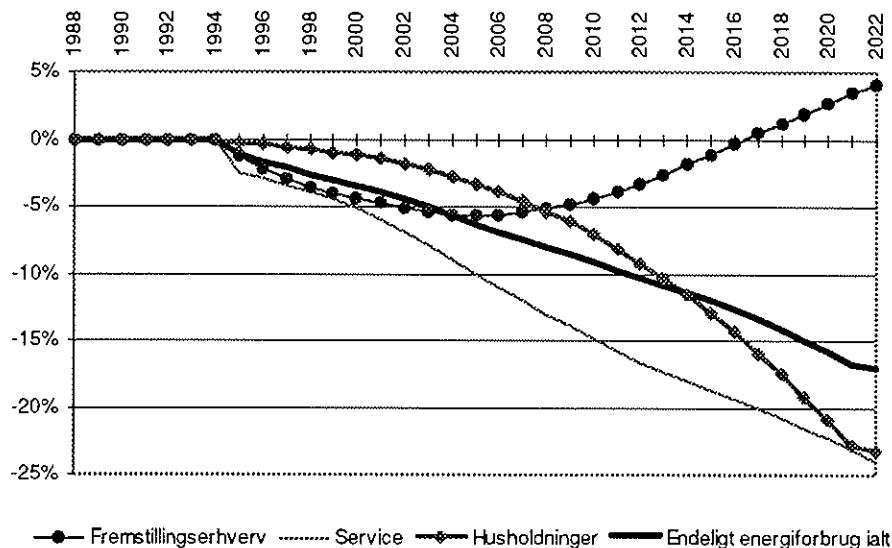


**Figur 8.26 Økonomiforløbets påvirkning af forsyningspriser (nominelle priser)**

Priserne stiger umiddelbart som en følge af de højere brændselspriser. Dette slår stærkest igennem på gasprisen, mens varmeprisen kun stiger moderat. Efterhånden slår virkningen fra de makroøkonomiske prisserier igennem, idet inflateringen af både brændselspriser, anlægsomkostninger samt øvrige omkostninger inflateret med BFI-prisindekset giver langsommere omkostningsudvikling end i referenceforløbet. På lang sigt er der tale om et betydeligt prisfald, der er med til at modvirke det initiale efterspørgselsfald for forsyningssektorens produkter.

### 8.4.2 Endeligt energiforbrug og bruttoenergiforbrug

Den lavere økonomiske vækst giver et betydeligt fald i den endelige energiefterspørgsel. Faldet i endeligt energiforbrug i alt er større end det efterspørgselsfald, som observeres for el, gas og fjernvarme. Reduktionen i endeligt energiforbrug er ca. 17% mod en reduktion i el og gasefterspørgselen på omkring 8%. Dette skyldes primært, at forsyningssektorens produkter i højere grad end øvrige energivarer leveres til brændselsforbrug i husholdning, hvor specielt elforbruget i Hybris apparatmodul bestemmes med en løsere sammenhæng med den økonomiske udvikling.



**Figur 8.27 Ændring i endeligt energiforbrug i forhold til referenceforløbet**

Det er bemærkelsesværdigt at endeligt energiforbrug i fremstilling stiger på det helt lange sigt. Dette skyldes en markant konkurrenceevneforbedring, som giver anledning til en produktionsstigning i de udenrigshandelsfølsomme fremstillingserhverv.

**Tabel 8.6 Bruttoenergiforbruget i økonomiforløbet relativt til referenceforløb**

år	2000	2010	2020
Bidrag fra forsyningssektorens bruttoenergiforbrug	-3%	-6%	-9%
Bidrag fra øvrige erhvervs og anvendelses bruttoenergiforbrug	-1%	-2%	-5%
Samlet bruttoenergiforbrug	-4%	-8%	-14%

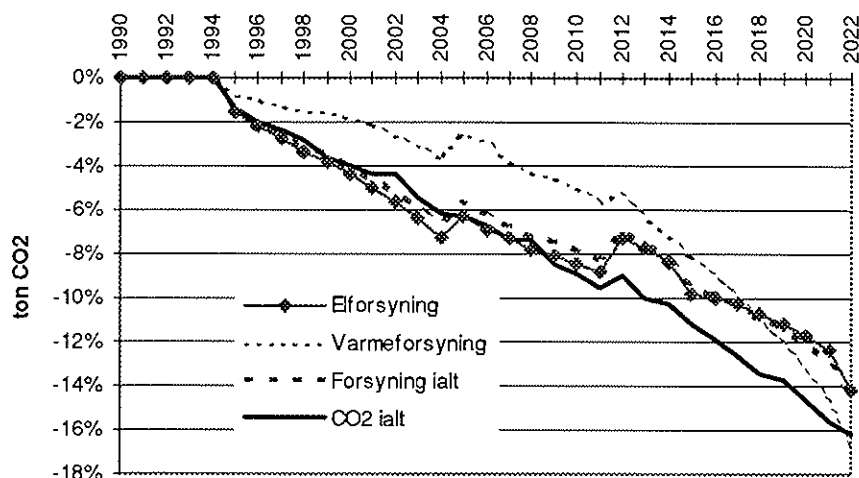
Der er i tabellen ovenfor opgjort bruttoenergiforbrug i forsyningssektoren på basis af et fald i den endelige efterspørgsel efter el og varme på omkring 10% for 2020. Reduktionen i bruttoenergiforbrug har således ikke ret meget at gøre med forhold i forsyningssektoren, men stammer hovedsageligt fra efterspørgselen.

Ændringer af vækstrater for økonomien ses at have en meget stabil påvirkning af udviklingen i bruttoenergiforbruget.

### 8.4.3 CO<sub>2</sub> emission

Der sker kun en meget lille omlægning af sammensætningen af bruttoenergiforbruget i dette forløb. Derfor fås også en meget tæt sammenhæng mellem bruttoenergiforbruget i Tabel 8.6 og CO<sub>2</sub> reduktionen i Figur 8.28. Reduktionen i forsyningssektoren er noget

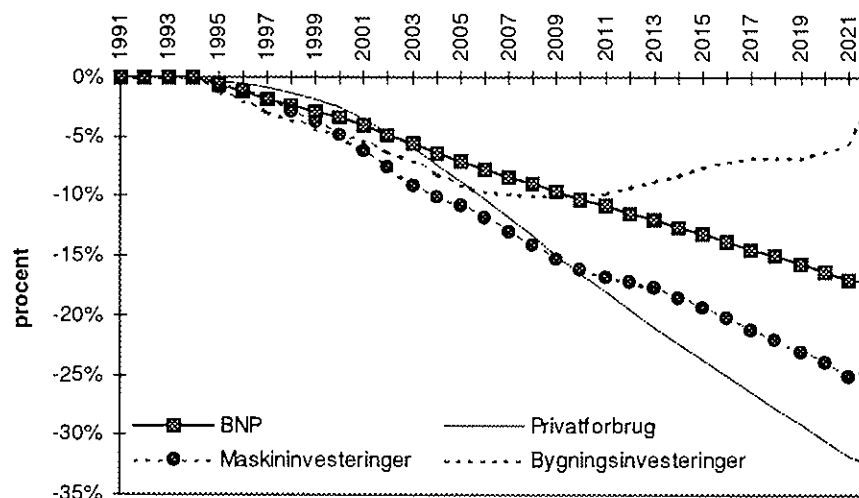
mindre end for den samlede økonomi, hvilket er forårsaget af et mindre fald i endeligt el og varmekonsum end for de øvrige energityper.



Figur 8.28 Reduktion af CO<sub>2</sub> i økonomiforløb relativt til referencen

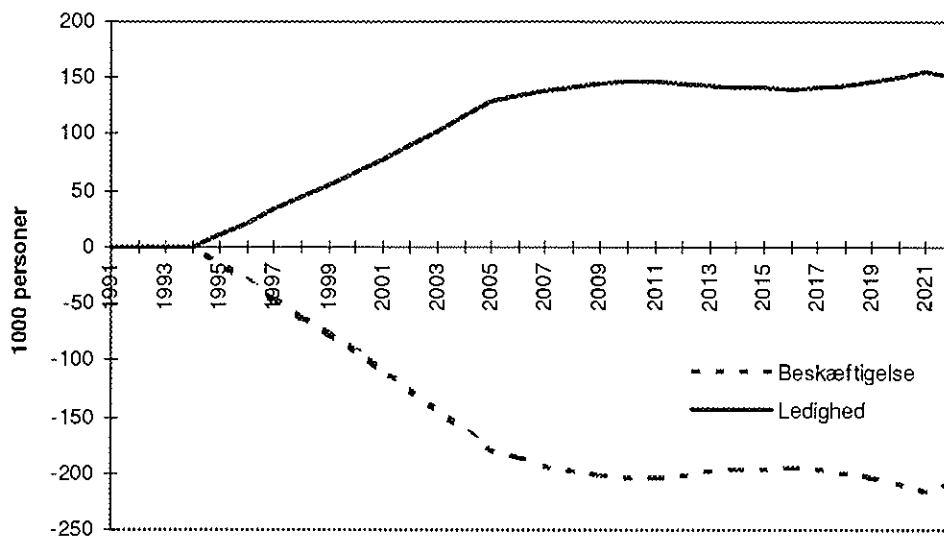
#### 8.4.4 Økonomisk forløb relativt til reference

Økonomiforløbet indebærer moderate væksttab på årsbasis, men set over hele perioden fås et godt 15% lavere BNP og et privatforbrug godt 30% under referencens. Dette er meget større påvirkninger af økonomien end det er tilfældet i de øvrige scenarier. Samtidig er det så store påvirkninger, at resultaterne fra en så lang kørsel med ADAM som her må anvendes med forsigtighed.



Figur 8.29 Ændring i økonomiske størrelser

De store påvirkninger af økonomien giver sig også udslag i store bevægelser i beskæftigelse og ledighed, som illustreret i Figur 8.30.



**Figur 8.30 Virkninger på beskæftigelse og ledighed i forhold til referenceforløb**

Der er generelt ved de lange kørsler med ADAM ikke nogen sikring af opretholdelse af realistiske niveauer for betalingsbalance og øvrige sektorbalancer. Hvis der indbygges målsætninger om betalingsbalanceniveauer vil der for en kørsel som skitseret i dette økonomiforløb kunne opnås væsentligt andre resultater på det helt lange sigt som 2020 her.



## 9. Konklusion

Der er i dette projekt arbejdet med både praktiske og metodiske problemer omkring integrering af makroøkonomiske og teknisk økonomiske modeller. Dette kapitel er opdelt på samme måde i resultater og konklusioner med hensyn til den praktiske implementering af Hybris og med hensyn til den teoretiske udredning af modellernes egenskaber.

### 9.1 Teoretiske og metodiske problemer omkring integrerede modeller

Det fremgår af de foregående kapitler, at de tekniske og makroøkonomiske modeller beskriver det fremtidige energiforbrug og den fremtidige energiproduktion ud fra meget forskellige opfattelser af, hvilke variabler der er af betydning for bestemmelsen af energiforbruget. Disse forskelle afspejler sig i modellernes forskellige vurdering af de samfundsmæssige omkostninger af en reduktion af CO<sub>2</sub>-udslippet.

Modellerne har derudover forskellige teoretiske udgangspunkter.

- De tekniske bottom-up-modeller beskriver den energiforbrugende teknik, og modellerne bygges overvejende af folk med teknisk-videnskabelig baggrund.
- De makroøkonomiske top-down-modeller beskriver den energiforbrugende adfærd, og er funderet i den økonomiske videnskab.

Udgangspunktet for at integrere de to modeltyper er, at i de sammenhænge, man vil bruge den integrerede model, er ingen af modellerne den "rigtige" - og at den integrerede model - i disse sammenhænge - vil være "bedre" end hver af modellerne for sig.

Top-down- og bottom-up-modellerne kan integreres på forskellig måde. Én måde er at integrere modellerne, så top-down- og bottom-up-modellen kan fås som specialtilfælde af den integrerede model.

Blandt fordelene ved en integreret model kan nævnes:

- Den integrerede model er velegnet til at besvare spørgsmål om energisystemets samspil med makroøkonomien. En række af disse spørgsmål vil ikke kunne besvares af top-down- eller bottom-up-modellen alene.
- Spørgsmål om energisystemets samspil med makroøkonomien må forventes at få en stigende relevans på grund af den stigende nationale og internationale opmærksomhed om blandt andet drivhusgassernes betydning for miljøet. Eksempler på spørgsmål, der er både energipolitisk og samfundsøkonomisk relevante, er: 1) De energimæssige og samfundsøkonomiske effekter af CO<sub>2</sub> - eller andre energirelaterede - afgifter, 2) den samfundsøkonomiske betydning af omlægninger af forsyningssystemet.
- De makroøkonomiske modeller og de tekniske mikromodeller kan hver for sig anvendes til konkrete beregninger vedrørende energisystemets samspil med makroøkonomien. Hvis disse beregninger imidlertid forudsætter, at modelbrugene modificerer modellernes resultater - for at kompensere for makromodellens manglende beskrivelse af energisystemet, eller for at kompensere for den tekniske

mikromodels manglende beskrivelse af den økonomiske adfærd og de makroøkonomiske sammenhænge - vil det være vanskeligt for udenforstående at reproducere resultaterne. Derfor - og fordi det generelt kan være vanskeligt at opnå intern konsistens mellem modelberegninger og beregninger "på bagsiden af en kuvert" - kan det være en fordel at anvende en fuldt specificeret integreret model.

- Den integrerede model har flere politisk/økonomiske instrumenter og flere anvendelsesmuligheder end hver af de modeller, den består af. Den integrerede model vil sandsynligvis kunne besvare *alle* de spørgsmål, der kan stilles til den top-down- og bottom-up-model, den består af.
- Den integrerede model er en mulighed for en fælles referenceramme for bottom-up og top-down tilhængere. Sammenbygningen og sammenkørselen af modellerne kan tydeliggøre på hvilke områder modellerne giver forskellige resultater - og dermed bidrage til en mere frugtbar diskussion mellem tilhængere af hver af de to modeltilgange.
- De makroøkonomiske modeller og bottom-up-modellerne benytter forskellige omkostningsbegreber i beskrivelsen af "de samfundsøkonomiske omkostninger". I den integrerede model anvendes samme omkostningsbegreb, hvilket gør de to modeltilganges resultater bedre sammenlignelige.

Ulemperne ved en integreret model er blandt andre:

- Den integrerede model løser ikke "striden" om de økonomisk rentable potentialer for energibesparelser (jf. kapitel 2) mellem de tekniske og de makroøkonomiske modeller.
- Der er stor fare for, at den integrerede model bliver stor og uoverskuelig og samtidig stiller krav til brugeren om indgående kendskab til både den makroøkonomiske del af modellen og en lang række sammenhænge indenfor energisystemet.

### 9.1.1 Metodiske problemer ved en sammenkobling af ADAM og teknisk økonomiske energimoduler

Det har i dette projekt været nødvendigt at opbygge helt nye teknisk økonomiske moduler til sammenkobling med ADAM. Der er benyttet en række principper fra BRUS modellen, men også andre teknisk økonomiske modeller har været anvendt som inspirationskilde. Moduler for forsyningserhvervet, elforbruget i husholdningerne og varmeefterspørgselen fra husholdningerne er opbygget.

Det generelle princip for sammenkoblingen har været en bottom-up beskrivelse i energimodulene, der indrettes på at give resultater, som kan erstatte eller supplere energirelaterede dele af top-down modellen ADAM.

En sammenkobling af bottom-up modulene og ADAM kræver en identifikation af en række links, der enten er relevante for energispørgsmål eller er nødvendige til sikring af konsistens mellem de to modeldele. Der er identificeret links for størrelser som:

- forsyningssektorens brændselsefterspørgsel
- priser på forsyningssektorens produktion
- investeringer i forsyningssektor

- husholdningernes brændselsefterspørgsel
- husholdningernes forbrug af varige goder
- udviklingen i boligstok
- energipriser og afgifter

Implementeringen af disse links er relativt simpel i ADAM, idet modellen allerede er indrettet på at tilgodese en lang række ønsker til analyser med eksogeniseringer eller justeringer af en stor del af modellens variable. Der kan dog være visse metodiske problemer forbundet med implementeringen af links. Dele af den energiefterspørgsel i ADAM, som ønskes erstattet med bottom-up bestemmelser kan være integrerede dele af en samlet bestemmelse af størrelser i ADAM. Dette gælder f.eks. privatforbruget af brændsel, hvor en direkte eksogenisering kan give konsistensproblemer i ADAM. Ved hjælp af justeringsled i Hybris og et antal iterationer opretholdes ADAM's forbrugsstruktur, samtidig med at energiforbruget bestemmes i bottom-up moduler.

Der opereres i ADAM og i de teknisk økonomiske moduler med forskellige måleenheder for energi. Det har således været nødvendigt at omregne fra fastprisstørrelser i ADAM og til energienheder i energimodulerne og omvendt. Det har vist sig, at på det aggregerede niveau, hvor sammenkoblingen foretages, varierer omregningsfaktoren mellem de to mål for energi over tid. Dette kan give problemer med manglende konsistens ved store ændringer af sammensætningen af energiefterspørgselen.

Links fra de teknisk-økonomiske moduler til ADAM indebærer en aggregering af modulenes energistørrelser og i nogle tilfælde en opsplitning af energistørrelser på leverende erhverv og importkategorier. Der er ikke nogen entydig overgang fra en energivariabel i det teknisk økonomiske modul og en tilsvarende energivariabel i ADAM. Dette nødvendiggør en række antagelser omkring aggregering henholdsvis disaggregering ved overgang fra den ene modeldel til den anden. Resultatet af dette er en varierende detaljeringsgrad for bestemmelsen af energiforbrug og CO<sub>2</sub> emissioner mellem de teknisk økonomiske moduler og de fra ADAM genererede opgørelser af samlet energiforbrug og emissioner.

Den valgte sammenkobling af uafhængige moduler fremfor en fuldstændig implementering af de teknisk økonomiske moduler i ADAM modelligningerne giver større fleksibilitet og mulighed for at belyse sammenhængene mellem energimoduleme og økonomien for hver iteration mellem moduleme og ADAM. Sammenkoblingsmetoden indebærer, at det er nødvendigt at foretage en række iterationer mellem modeldelene, men allerede efter fire til fem iterationer opnås en løsning, der svarer til det, der ville være opnået ved en fuldstændig implementering i ADAM.

## 9.2 Integrering af teknisk økonomiske moduler for energiforbrug og produktion med ADAM modellen

Arbejdet med dette projekt har i høj grad været koncentreret om en praktisk sammenkobling af ADAM med bottom-up moduler for energiefterspørgsel og produktion. Resultatet af dette arbejde er dels modelstrukturen Hybris og dels nogle metodiske overvejelser omkring en konkret sammenkobling af modeller af ADAM og BRUS typen.

### 9.2.1 Resultatet af integration af bottom-up moduler med ADAM

Hybris er en konsistent model til behandling af energispørgsmål i en struktur, hvor energimodellen og makromodellen fremstår som enkeltelementer, der spiller sammen

uden at den ene eller den anden model er direkte integreret i den anden. Med en sådan struktur er det muligt at belyse basale sammenhænge mellem økonomien og energisystemet. Hybris giver mulighed for at analysere:

- Energirelaterede afgifter, hvor et ikke reguleret forsyningssystem gives mulighed for brændselssubstitution, samtidig med at efterspørgselsvirkningen i erhverv og endelige anvendelser medtages. Endvidere er der detaljeret beskrevet prisdannelse for el under hensyntagen til brændselsomkostningerne efter en afgiftsindførelse.
- Effekterne af en omlægning af forsyningssystemet, hvor der tages hensyn til afledede pris og investeringspåvirkninger af økonomien og den dermed forbundne ændring i energiefterspørgsel.
- Omlægning og forbedring af energieffektiviteten for opvarmning og erhvervenes energiforbrug i alt, med ADAM strukturen for energiefterspørgsel og dermed omkostningspåvirkningen intakt.
- Effekten på elforbruget af at indføre detaljerede tekniske normer for energiforbruget i husholdningernes elapparater under hensyntagen til påvirkningen af de øvrige forbrugskomponenter i ADAM og kapacitetsudbygningen i elproduktionen.
- Konsekvenserne for energiforbrug og forsyningssystem af ændrede makroøkonomiske forudsætninger, ændret økonomisk vækst og/eller ændrede energipriser.
- De samlede effekter af alle de i scenarierne skitserede tiltag på både efterspørgsels og udbudssiden kan belyses konsistent i en og samme model. Således at reduktionsberegninger foretages under hensyntagen til ændringer af energiefterspørgsel og produktionsforhold andre steder i energisystemet.

Den opstillede modelstruktur Hybris giver således mulighed for at analysere en række sammenhænge mellem makroøkonomien og energisystemet. Samtidig kan der belyses en lang række energibesparende eller CO<sub>2</sub> reducerende tiltag, som det ikke er muligt at behandle konsistent i hverken teknisk økonomiske energimodeller eller i makromodeller hver for sig

Hybris modelstruktur er fleksibel, således at det er muligt at koble flere energimoduler på systemet. Det vil også være muligt at koble energimodulerne sammen med en anden makromodel end ADAM.

Hybris har således videre anvendelsesmuligheder til energianalyser og analyser af emissionsreduktioner end traditionelle bottom-up eller top-down modeller.

### 9.2.2 Egenskaber og sammenhænge i samlede analyser med Hybris

Opstillingen af de illustrative scenarier i kapitel 8 kan bl.a. belyse størrelsesordenen af sammenhænge mellem ADAM og energisystemet. Der kan iagttages følgende

- *Afgiftsforløbet*, der inkluderer forsyningserhvervet giver CO<sub>2</sub> emissionsreduktioner forbundet med brændselsomlægninger i el- og varmeproduktion, der er større end emissionsreduktionen forbundet med reduktionen i det endelige energiforbrug. Apparatmodulets beskrivelse af husholdningernes brændselsforbrug med kun få priseffekter formindsker reduktionsvirkningen af en CO<sub>2</sub> afgift.
- *Forsyningsforløbet* regulering af forsyningssektoren med hensyn til udbygningstyper og brændselsvalg, men ikke udbygningstidspunkt, kan give nogenlunde samme emissionsreduktion i forsyningssektoren, som den reduktion der opnås ved en afgift som i afgiftsforløbet. Den relaterede omkostningspåvirkning til el- og varmepris er samtidig mindre end i afgiftsforløbet.

- *Normforløbet* med indførelse af normer for elforbruget i husholdningernes elapparater kombineret med eksogene effektivitetsforbedringer giver betydelige CO<sub>2</sub> reduktioner uden samfundsøkonomiske omkostninger målt på BNP og beskæftigelse.
- *Økonomiforløbet* viser at udviklingen i energiforbrug og CO<sub>2</sub> emission i modelstrukturen Hybris på lang sigt er tæt forbundet med den økonomiske udvikling.

Hybris modelsystemet er umiddelbart istand til at gennemføre en lang række kombinerede analyser udover de i dette projekt gennemførte, ligesom det er oplagt at analysere sammenhænge med inddragelse af de moduler for erhvervenes energiforbrug, som er udviklet i det Strategiske Miljøforsknings Program, og som nu tilpasses til ADAM. Der er ligeledes mulighed for at udbygge systemet med andre moduler for energi.

### 9.3 Videre perspektiver for arbejdet med sammenkobling af makroøkonomiske og energiorienterede modeller

Hybris-modelstrukturen omfatter moduler for energiforsyningen, samt for el- og varmemeforbruget i husholdninger. En videreførelse af top-down/bottom-up integrationsfilosofien vil for Hybris-modelstrukturen derfor omfatte en udvikling af bottom-up moduler for:

- industri og service, hvor både økonomiske og tekniske variable inkluderes
- transporten, hvor specielt den internationale transport skal beskrives grundigt

Herudover kunne det være relevant, at udbygge Hybris-modelstrukturen så den kan anvendes bl.a. til analyser af et frit energimarked i EU. Endelig eksisterer der udbygningsmuligheder i de allerede udviklede energimoduler i Hybris. Eksempelvis ville det være relevant at indføre prisvariable i et større omfang i el- og varmemoduleme til beskrivelse af husholdningernes energiforbrug.

Ovennævnte videreudvikling vil i et vist omfang kunne tage udgangspunkt i allerede eksisterende projekter. Under det Strategiske Miljøforsknings Program (SMP) er et udviklingsarbejde igang, der omfatter indførelse af brændselssubstitution i erhvervene i ADAM, samt en beskrivelse af energiforbruget til transport. I et samarbejde mellem Energistyrelsen og elværkerne udvikles en analysemodel for elforbruget i servicesektoren.

Udviklingen af top-down/bottom-up moduler for disse sektorer vil derfor naturligt kunne tage afsæt i disse projekter, eksempelvis vil formålet med et industri-modul specielt kunne være at beskrive udviklingen i erhvervenes energieffektivitet, som også i SMP-arbejdet er eksogen i ADAM.

Et væsentligt element i nutidens analyser af den samfundsøkonomiske udvikling indbefatter konsekvensberegninger af energi- og miljømæssige forhold. En videreførelse af top-down/bottom-up filosofien inden for dette område vil i høj grad medvirke til at en bred vifte af politisk-økonomiske instrumenter kan vurderes, samtidig med at de største aktører på området (herunder energiforsyningen) kan behandles detaljeret. Allerede nu udfører Danmarks Statistik, Danmarks Miljø Undersøgelser (DMU) og Risø i samarbejde et projekt, der går ud på at implementere væsentlige elementer fra såvel indeværende projekt som SMP-arbejdet i en operationel ADAM version. Det må således også forventes, at fremtidige top-down/bottom-up integrationer vil have en interesse, der kan medføre en implementering af disse moduler i ADAM.

# REFERENCER

- Andersson, Bo, (1993). Kostnader för att begränsa koldioxidutsläppen i Sverige - En sammanställning av genomförda studier. Handelshögskolan, Stockholm, August, 1993.
- Barker, T., Ekins, P., Johnstone, N., (1995). Global Warming and Energy Demand. Routledges, London.
- Beaver, Ronald D. and Huntington, Hillard G. (1992). A comparison of aggregate energy demand models for global warming policy analyses. *Energy Policy*, s. 568-574, June 1992.
- CEC, (1992). The climate challenge. Economic aspects of the Community's strategy for limiting CO<sub>2</sub> emissions. No. 51, May 1992.
- CEC, (1992). The economics of limiting CO<sub>2</sub> emissions. Special edition no. 1, 1992.
- Chandler, William U., (1994). Bottom-up Modelling of Future Emissions of Greenhouse Gases: A Review of U.S. Cost Studies. Workshop on Bottom-up and Top-down modelling. Milan, Italy, April 1994.
- Chandler, William U., Kolesov, Alexander, (1994). Climate Change Mitigation: A Review of Cost Estimates and Methodologies for the Post Planned Economies. Conference on National action to mitigate global climate change, Copenhagen, Denmark 1994.
- Cline, William R., (1991). Economic Models of Carbon Reduction Costs: An Analytical Survey. Institute for International Economics. Draft, June 1991.
- Cline, William R. (1992). The Economics of Global Warming. Institute for International Economics, Washington, DC. June 1992.
- Danmarks Statistik. (1991). ADAM - En model af dansk økonomi, oktober 1991.
- Danmarks Statistik. (1991). ADAM - En model af dansk økonomi, oktober 1991. Bilag.
- Det Økonomiske Råd. (1993). Dansk Økonomi, Maj 1993.
- Edmonds, Jae, Reilly, John, (1983). A long-term global energy-economic model of carbon dioxide release from fossil fuel use. *Energy Economics*, April 1983.
- Ekins, Paul, (1994). The impact of carbon taxation on the UK economy. *Energy Policy* 1994, vol. 22, No. 7, s. 571-579, 1994.
- Frandsen, S. Elkjær, Hansen, Jan V., Trier, Peter. (1995). GESMEC, En generel ligevægtsmodel for Danmark - Dokumentation og anvendelser. Udgivet af Det økonomiske Råds sekretariat.
- Frandsen, Søren E., Hansen, Jan V., Trier, Peter. (1993). GESMEC - en dokumentation af DØRS' generelle ligevægtsmodel og CO<sub>2</sub>-beregninger i Dansk økonomi, maj 1993.
- Grubb, Michael, et al. (1993). The costs of limiting fossil-fuel CO<sub>2</sub> emissions: A survey and analysis. *Annu. Rev. Energy Environ.*
- Hake, J.Fr. et al. (1994). Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level. Forschungszentrum Jülich GmbH. 1994.
- Hamilton, Leonard D., et al. (1992). MARKAL-MACRO: An Overview. Brookhaven National Laboratory. November 12, 1992.
- Hoffman, Kenneth C. and Jorgenson, Dale W. Economic and technological models for evaluation of energy policy. *The Bell Journal of Economics*, s. 444-466.
- Hogan, William W. Comments on Manne and Richels: "CO<sub>2</sub>-Emission Limits: An Economic Analysis for the USA". *The Energy Journal*, Vol. 11, No. 2, s. 75-85
- Hourcade, Jean-Charles, (1992). Modelling Long Run Scenarios: Methodological Lessons from a Prospective Study on a Low CO<sub>2</sub> Intensive Country. Workshop on costs, impacts and possible benefits of CO<sub>2</sub> mitigation, IIASA, 28-30 September 1992, Laxenburg, Austria.

- Hourcade, Jean-Charles, et al. (1995). A Review of Mitigation Cost Studies. Draft, May 29.
- Hourcade, J.C. et al. (1995). Estimating the Costs of Mitigating Greenhouse Gases. Draft, May, 1995.
- Huntington, Hillard G., (1994). Been top down so long it looks like bottom up to me. *Energy Policy*, vol. 22, No. 10, s. 833-839.
- IEA, (1993). Seminar on "Linking Technical Energy Systems Models with Macro-Economic Approaches". Oxford, U.K., 7-9 June 1993. Proceedings.
- IAEA, (1995). Computer Tools for Comparative Assessment of Electricity Generation Options and Strategies. Vienna, Austria.
- Kaya, Y. et al. (1993). Costs, Impacts, and Benefits of CO<sub>2</sub> Mitigation. Proceedings of a Workshop, 28-30 September 1992, IIASA, Laxenburg, Austria.
- Krause, Florentin, (1994). Top-Down and Bottom-Up Methods for Calculating the Cost of Carbon Reductions: An Economic Assessment. Draft contribution to IPCC report, June 20, 1994.
- Kverndokk, Snorre, (1993). Essays on Cost-effectiveness, Efficiency and Justice in International CO<sub>2</sub> Agreements. Thesis, December 1993.
- Lapillone, B. (1992). "Overview & Experience in the Use of End-Use Demand Models: Example of MEDEE". Workshop and Conference on "Global Change and Environmental Considerations for Energy System Development". 21 April - 8 May 1992.
- Manne, Alan S. & Richels, Richard G., (1993). The Costs of Stabilizing Global CO<sub>2</sub> Emissions - A Probabilistic Analysis Based on Expert Judgments. Draft, February 1993.
- Manne, Alan S., (1993). International Trade: The Impacts of Unilateral Carbon Emission Limits. Paris, 14-16 June 1993, OECD.
- Manne, Alan S. & Richels, Richard G., (1993). CO<sub>2</sub> Hedging Strategies - The Impact of Uncertainty upon Emissions. OECD conference, Paris, 14-16 June 1993, OECD.
- Manne, Alan S. & Richels, Richard G. CO<sub>2</sub> Emission Limits: An Economic Cost Analysis for the USA. *The Energy Journal*.
- Manne, Alan S. & Richels, Richard G., (1992). The E.C. Proposal for Combining Carbon and Energy Taxes - the Implications for Future CO<sub>2</sub> Emissions. Draft, June 1992.
- Manne, Alan S., Wene, Clas-Otto, (1992). MARKAL-MACRO: A linked model for energy-economy analysis. Brookhaven National Laboratory, February 1992.
- Manne, Alan S., (1993). MERGE - A Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG/Reduction Policies. November 16, 1993.
- Manne, A., S., Richels, Richard G., (1992). Buying Greenhouse Insurance. The Economic Costs of CO<sub>2</sub> Emission Limits. MIT Press.
- Meyer, Niels I., and Nielsen, Per S. (1991). Global collaboration on a sustainable energy development, Technical University of Denmark, Snekkersten, Denmark 25-28 April 1991.
- Miljøministerier. (1995). Environmental satellite models for ADAM. NERI Technical Report No. 148.
- Morthorst, Poul Erik. (1993). The cost of CO<sub>2</sub> reduction in Denmark - methodology and results. Risø National Laboratory, RISØ-R-728.
- Mæng, Henning. (1995). CO<sub>2</sub>-reduktion, Samfundsøkonomi og EDB-modeller - fra toppen og ned eller fra bunden og op?
- Nakicenovic, N. et al. (1994). Integrative Assessment of Mitigation, Impacts, and Adaptation to Climate Change. Proceedings of a Workshop, 13-15 October 1993, IIASA, Laxenbourg, Austria.
- Neri, John A. An evaluation of two alternative supply models of natural gas. *The Bell Journal of Economics*, s. 289-302.

- Pedersen, Ole Gravgård, (1993). Input-output analysis and emissions of CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and NO<sub>x</sub> - the linkage of physical and monetary data. Danmarks Statistik.
- Risø, (1983). The Use of Simulation Models in Energy Planning. Risø International Conference, 9-11 May, 1983.
- Risø, (1990). Brundtland-scenariemodellen - BRUS. Baggrundsrapport nr. 7 til ENERGI 2000. Udarbejdet for Energistyrelsen, Marts 1990.
- Sathaye, J., Christensen, J. (1994). Methods for the economic evaluation of greenhouse gas mitigation options. Energy Policy, Vol. 22, No. 11.
- Sathaye, J. (1995). End-use energy modelling for developing countries. A review of the end-use approach for projecting long-term energy use and GHG emissions. Working Paper No. 2, April 1995.
- UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment. (1992). UNEP Greenhouse Gas Abatement Costing Studies. Phase One Report, August 1992.
- Wier, Mette, (1993). Makroøkonomiske miljømodeller. Nationaløkonomisk Tidsskrift, nr. 3, s. 354-365.
- Wier, Mette, (1993). Makroøkonomiske miljømodeller. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 83.
- Wilson, Deborah and Swisher, Joel, (1993). Exploring the gap. Top-down versus bottom-up analyses of the cost of mitigating global warming. Energy Policy, Vol., s. 249-263.
- Zhong-Xiang, Zhang and Folmer, Henk, (1991). Alternative Economic Approaches to Identifying Cost-Effective Strategies for Coping with CO<sub>2</sub>-Emission Limits: Methodology and Empirical Studies. Paper prepared for the Workshop on Managing the International Commons, Venice, September 1991.



# Bilag 1

NATIONAL, COSTING STUDIES • NON-USA, DEVELOPED COUNTRIES CO <sub>2</sub> EMISSIONS REDUCTIONS AND COSTS CO <sub>2</sub> reduction from baseline and from reference year									
Model	Country	Author	Key	CO <sub>2</sub> reduction baseline		CO <sub>2</sub> reduction reference year		GDP	Note
				Year	% red	year	%	from	
T-D	Australia	Dixon (1989)	AD	2000	47%			2.4%	
T-D	"	Industry Commission (1991)(WEDGE)	AICG	2005	40%			0.8%	A
T-D	"	"	AICG	2005	40%			1.0%	B
T-D	Belgium	Proost & van Regemorter (1990)	BP	2005	28%	1987	0%	1.8%	
T-D	Canada	Industry Commission (1991) (WEDGE)	CICG	2005	40%			2.1%	
T-D	Japan	Industry Commission (1991) (WEDGE)	JICG	2005	40%			0.9%	
T-D	"	Whalley & Wigle (1990a)	JWG	2030		1990	50%	-0.5%	C
T-D	"	"	"			1990	50%	3.7%	D
T-D	Korea	Industry Commission (1991) (WEDGE)	KICG	2005	40%			3.7%	
T-D	Netherlands	Bye, Bye & Lorentson (SIMEN)	NB	2000	17%	1987	0%	1.5%	E
T-D	"	NEPP (1991)	NEN	2010	25%			0.6%	
T-D	"	"	"		64%			4.2%	
T-D	Norway	Glomsrød et al. (1990)	NG	2010	26%	1990	-44%	2.7%	
T-D	Sweden	Bergman (1990)	SWB	2000	20%			1.4%	
	"	"	"		30%			2.6%	
	"	"	"		40%			3.9%	
	"	"	"		65%			5.6%	
	"	"	"		10%			0.0%	
T-D	UK	Barker & Lewney (1991)	UKBL	2005	32.0%	1988	20%	0.0%	
T-D	"	Capros et al. (1990)	UKC	2005	32.0%	1988	20%		
T-D	"	Ingham & Uloh (1991a)	UKIU	2005	53.0%	1990	25%	0.5%	
T-D	"	Sandheimer (1990)	UKS	2005		1988		0.1%	
T-D	"	"	"			1988		-0.2%	
T-D	"	"	"		4.0%	1988		-0.5%	
T-D	"	"	"		5.0%	1988	4%		
T-D	"	"	"			1988	-20%		
T-D	....	Barrett (1990a)	UKB	2005		1988	-50%		
T-D	OECD	Manne & Richels (1990b)	OMG	2010		1990	20%	1.5%	E
T-D	other OECD	Manne & Richels (1990b)	OOMG	2100				1.8%	
T-D	"	Whalley & Wigle (1990a)	OOWG	2030		1990	50%	2.3%	D
T-D	"	"	"			1990	50%	2.1%	C
T-D	Europe	Bumiaux et al (1991)	EBG	2020		1990	20%	0.7%	
T-D	EC	Whalley & Wigle (1990a)	ECWG	2030		1990	50%	4.0%	D
T-D	"	"	"			1990	50%	1.0%	C
	"	Industry Commission (1991) (WEDGE)	ECICG	2005	40%			1.5%	
	Australia	Marks et al (1990)	AM	2005	44%		20%	1.5%	J
	Japan	Yamaji et al (1990)	JYC	2005	17%				
	"	"	"		36%	1988	0%	6.0%	I,J
	"	Leach (1991)	UKL	2005		1990	20%	0.0%	
B-U	Canada	Haites (1990) (Chandler, 1990)	CH	2005	56%			0.3%	
B-U	"	"	"			1988	20%		
B-U	France	Hourcade (1990) (Chandler, 1990)	CH	2005	21%				
B-U	"	"	"			1988	0%	0.0%	
B-U	Netherlands	Kram & Okken (1989)	NEK	2020			50%	0.5%	
B-U	"	Boonekamp et al. (1989)	NB	2030	27% to				H
B-U	Sweden	Mills et al. (1991)	SWM	2020	8%		-135%	0.3%	
B-U	"	"	"		44%		-165%	0.4%	F
B-U	UK	Coherence (1991)	UKC	2010		1988	30%	0.3%	
B-U	"	"	"			1988	20%	0.1%	
B-U	"	"	"			1988	10%	0.0%	
B-U	"	"	"			1988	0%	0.0%	G
B-U	"	Skea (Chandler, 1990) (1990)	UKS	2005	24.0%				
B-U	"	"	"			1988	0%	0.3%	
T-D	Industrial	Anderson (1990); An. & Bird (1990a)	IAG	2000				0.1%	
T-D	"	"	"	2020				0.5%	
T-D	"	"	"	2050				1.4%	

Notes: Blank spaces indicate no data available for review

CO<sub>2</sub> values: negative values imply an increase in CO<sub>2</sub>

For model types: T-D = top-down; B-U = bottom-up; L-R = Long-run;

S-R = Short-run; MIX = Mixture of top-down & bottom-up.

A Unilateral action by Australia

B Consensus action between 7 countries modelled

C Consumption based tax

D Production based tax

E GDP costs for OECD range of 1 to 2%

F Very large baseline due to Swedish move to phase out nuclear power

G Coherence (1991) GDP values are of 1988 GDP

H Two extremes of range

I Values of both 5% and 6% have been given

J Study combines technology with macroeconomic assessment of GDP impact

Kilde: UNEP (1992)

## Bilag 2

*Tabel D1. Årsvirkningsgrader.*

År	Fjernvarme	El	Fast	Flydende	Biomasse	Naturgas
1966	85%	97%	51%	57%	40%	
1967	86%	97%	51%	57%	40%	
1968	86%	97%	51%	57%	40%	
1969	86%	97%	51%	57%	40%	
1970	86%	97%	51%	57%	40%	
1971	87%	97%	51%	57%	40%	
1972	87%	97%	51%	57%	40%	
1973	87%	97%	51%	59%	40%	
1974	87%	97%	51%	61%	40%	
1975	87%	97%	51%	61%	40%	
1976	87%	97%	50%	62%	40%	
1977	87%	97%	51%	63%	40%	
1978	87%	97%	53%	64%	40%	
1979	87%	97%	52%	65%	40%	
1980	87%	97%	54%	67%	40%	
1981	88%	97%	56%	68%	40%	
1982	88%	97%	58%	70%	45%	50%
1983	88%	97%	60%	70%	45%	75%
1984	88%	97%	61%	71%	45%	76%
1985	88%	97%	64%	70%	50%	77%
1986	89%	97%	63%	70%	50%	77%
1987	89%	97%	64%	70%	50%	77%
1988	90%	97%	63%	70%	50%	77%
1989	90%	97%	66%	70%	51%	77%
1990	91%	97%	73%	70%	52%	77%
1991	91%	97%	76%	70%	52%	77%
1992	91%	97%	73%	70%	50%	77%

Kilde : Energistyrelsen.

*Tabel D2. Varmebehovet fordelt på teknologier.(TJ).*

År	Fjernvarme	El	Fast	Flydende	Biomasse	Naturgas	Ialt
1966	17737	200	29642	50707	786		99072
1967	18886	241	17869	48676	1062		86733
1968	22198	286	13622	58721	1032		95858
1969	28770	348	11470	70919	686		112192
1970	29441	430	5737	94695	352		130656
1971	30421	638	2212	84620	611		118502
1972	31191	961	1170	90478	139		123940
1973	32831	1299	2032	90289	224		126675
1974	32795	1707	1936	80407	282		117126
1975	34818	2069	1310	83063	300		121559
1976	34591	2533	437	97412	299		135273
1977	39088	3035	311	91735	288		134456
1978	40623	3517	194	95577	296		140207
1979	45985	4109	257	94842	290		145484
1980	43431	4133	508	80193	301		128567
1981	40810	4277	913	68418	1485		115903
1982	41392	4329	1060	65042	1593	0	113415
1983	42877	4055	1112	58458	1474	420	108396
1984	44254	4579	998	56590	1260	1358	109038
1985	50839	5372	1120	56800	1514	4207	119852
1986	48752	5837	839	56326	1495	7399	120649
1987	53400	6308	654	53440	1549	10415	125766
1988	50840	5885	427	48835	1306	11642	118935
1989	50743	5706	887	38334	1348	12191	109209
1990	48860	5515	802	34626	1360	14435	105597

*Tabel D3. Klimauafhængig andel, antal graddage og klimafaktor.*

År	Klimauafhængig.	Graddage	Klima faktor
1966	0.37	3410	0.9902
1967	0.37	2976	1.0769
1968	0.37	3229	1.0245
1969	0.37	3477	0.9779
1970	0.37	3549	0.9652
1971	0.37	3073	1.0562
1972	0.37	3243	1.0218
1973	0.37	3174	1.0354
1974	0.37	2914	1.0905
1975	0.37	2955	1.0815
1976	0.37	3468	0.9795
1977	0.37	3152	1.0400
1978	0.37	3252	1.0201
1979	0.37	3557	0.9638
1980	0.37	3407	0.9906
1981	0.37	3371	0.9973
1982	0.37	3203	1.0297
1983	0.37	3053	1.0605
1984	0.37	3120	1.0465
1985	0.37	3620	0.9529
1986	0.37	3460	0.9809
1987	0.37	3491	0.9755
1988	0.37	2993	1.0733
1989	0.37	2726	1.1343
1990	0.37	2687	1.1437

Kilde: Graddage beregnet ud fra månedsmiddeltemperaturer (Statistisk årbog, diverse år).

**Tabel D.4.**

År	Antal boliger	m <sup>2</sup> pr bolig A	m <sup>2</sup> pr bolig B	m <sup>2</sup> ialt A	m <sup>2</sup> ialt B	m <sup>2</sup> ialt
1965	1614	108		167267		167267
1966	1651	110		171276		171276
1967	1687	112		175358		175358
1968	1724	114		179505		179505
1969	1760	116		183718		183718
1970	1797	117		187997		187997
1971	1830	119		192026		192026
1972	1864	121		196116		196116
1973	1898	121		200195		200195
1974	1932	120		204262		204262
1975	1966	120		208318		208318
1976	1999	124		212509		212509
1977	2033	126		216768		216768
1978	2067	124		220896		220896
1979	2100	123		224990		224990
1980	2133	117		228885		228885
1981	2162	100	106	231760	230022	231760
1982	2181	91		233491		233491
1983	2188	89	107	234160	234160	234160
1984	2208	96	107	235998	236208	236208
1985	2228	97	107	238004	238421	238421
1986	2257	103	107	240998	242283	242283
1987	2282	98	108	243451	245731	245731
1988	2307	92	108	245705	249138	249138
1989	2328	92	107	247680	249127	249127
1990	2353	92	107	249975	251797	251797
1991	2375		107		254122	254122
1992	2386		107		255343	255343

Bemærkning: De grå celler i de første 3 kolonner angiver data fra DS. Udenfor disse celler er der foretaget lineær interpolation. " m<sup>2</sup> pr bolig A" angiver den gennemsnitlige størrelse for nybyggeri. " m<sup>2</sup> angiver den gennemsnitlige størrelse for alle bygninger. " m<sup>2</sup> ialt A" er beregnet som beskrevet i afsnit 4. " m<sup>2</sup> ialt B" er beregnet ved at multiplicere den gennemsnitlige boligstørrelse for alle bygninger med antallet af bygninger.

## Bilag 3

### BRUS

-modellen blev opbygget i årene 1989-90 i forbindelse med udarbejdelsen af Brundtland-energihandlingsplanen Energi 2000. I sit udgangspunkt er modellen centreret omkring energiforbrug og -forsyning og de deraf afledte økonomiske og miljømæssige konsekvenser, hvorfor BRUS-modellen er opbygget som en simplis-tisk udgave af det danske energisystem, men med de demografiske og økonomiske relationer indbygget, der kendetegner udviklingen i et samfund på langt sigt.

Modellen er opbygget til opstilling og gennemregning af såkaldte scenarier, d.v.s. mere eller mindre konstruerede fremtidsbilleder af det danske energisystem. I sin struktur er modellen så fleksibel, at selv radikalt forskellige scenarier kan opstilles og gennemregnes inden for en rimelig tidshorisont.

#### Modellens overordnede karakteristika

Modellen er opbygget som en simulerings- og konsekvensberegningsmodel. Da udgangspunkt tages i energiområdet, er hovedparten af modellens struktur opbygget omkring energisystemet, men med stor vægt på besparelser, miljø og økonomi. Karakteristisk er, at:

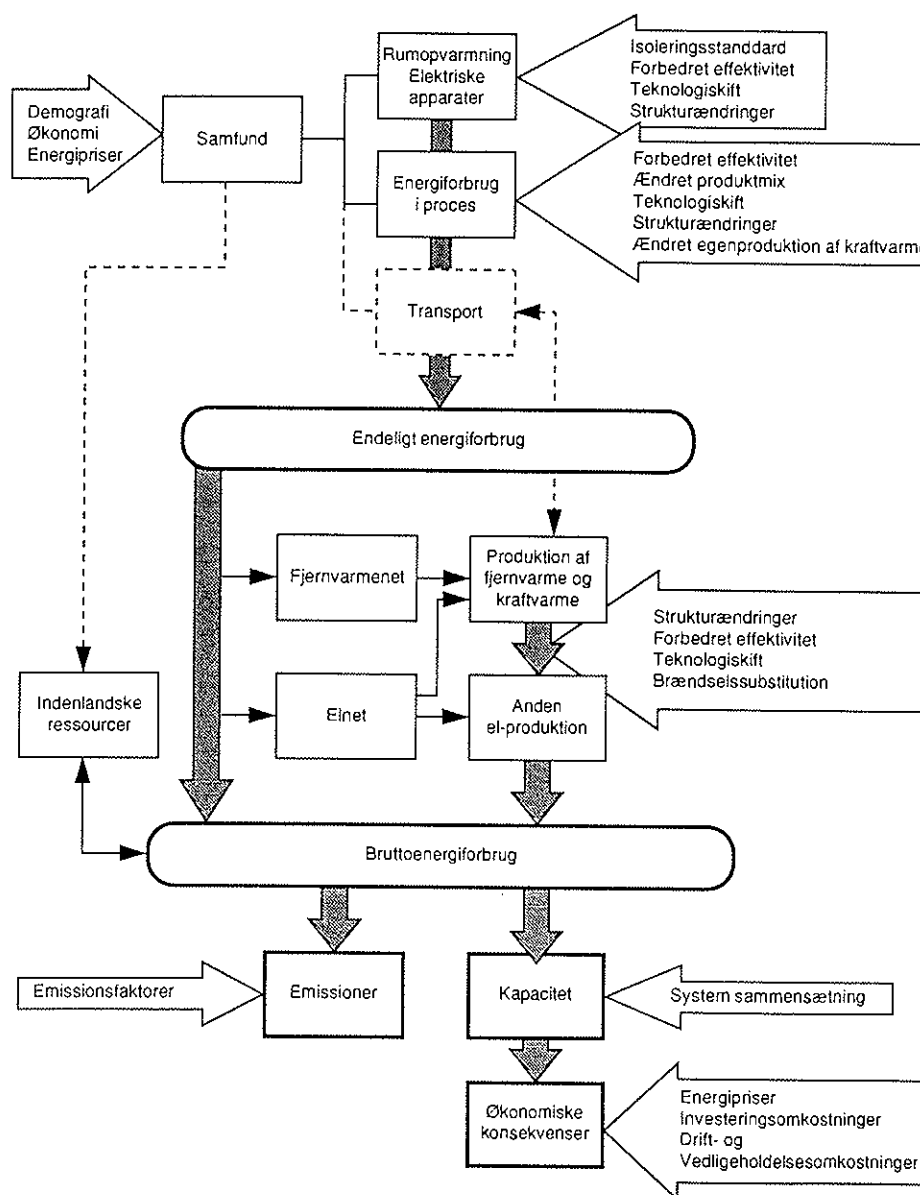
- Det er en *langsigtsmodel*, der strækker frem til år 2030, men "kun" gennemregner årene 1988, 2000, 2015 og 2030. For anlæg med en kortere levetid end 12-15 år opererer modellen rent statisk (disse anlæg "dør" i modellen fra år 2000 til år 2015). For anlæg med en længere levetid opererer modellen dynamisk.
- Det drejer sig om en *total model* (i modsætning til en partiel/marginal model). Det er således muligt at indføre drastiske ændringer (f.eks. en halvering af nettoenergiforbruget til rumopvarmning) og alligevel få meningsfyldte resultater ud af det.
- Modellen *integrerer forbrugs- og forsyningssiden*, hvorfor konsekvenser på f.eks. forbrugssiden slår fuldt igennem på forsyningssiden. Det er således muligt fuldt ud at vurdere besparelsetiltag i forhold til forsyningstiltag, såvel hvad angår energi og miljø som økonomi.
- Såkaldte "*konstant-led*" i *energiforbruget* er søgt modelleret i det omfang, det har været muligt. Eksempelvis er tomgangstab for oliefyr og fjernvarmeledninger inkorporeret i modellen.
- Modellen er fuldt ud "*trukket*" fra *forbrugssiden* - forsyningssystemets kapacitet fastlægges således af udviklingen i forbruget.
- Modellen er opbygget som en såkaldt "*valg-model*", d.v.s. at et scenarie defineres gennem et antal valg i modellen, f.eks. af mulig isoleringsforbedring, forbedret effektivitet af apparater, hvilke anlæg skal indgå i forsyningssystemet etc. Dette betyder, at selv omfattende scenarier relativt let opbygges.

Modellen er implementeret på PC inklusiv et overordnet menu-system. Via menuen er det muligt at gå ind i specifikke dele af modellen, foretage ændringer og evt. konsekvensberegne det pågældende modul. En total gennemregning af et scenarie varer

knap 4 minutter (afhængig af PC-type), hvilket muliggør opstilling og beregning af et relativt stort antal scenarier.

### Modellens struktur

Strukturen i BRUS-modellen er vist på Figur A.1. Modellen er opdelt i en række moduler, der behandler henholdsvis forbrugs- og forsyningsiden, omend beregningerne fremgår på en integreret vis. Transportmodulet på Figur A.1 er stiplet, da transporten ikke er behandlet på samme detaljerede vis som de øvrige dele af energisystemet, men resultaterne herfra er primært ekstraheret fra transporthandlingsplanen.



Figur A.1 Strukturen i BRUS-modellen.

## *BRUS's geografiske dimension*

Grundlæggende er BRUS-modellens struktur opbygget omkring de tre net i det danske energisystem: elnettet, naturgasnettet og fjernvarmenettet.

For elforsyningen er nettet kun i noget ringe omfang begrænsende for elektricitetens anvendelse og udbredelse: Elnettet dækker praktisk taget hele landet, og forsyning og forbrug kan i vid udstrækning adskilles geografisk (den manglende forbindelse over Storebælt er antaget kun at have en marginal indflydelse på det samlede systems effektivitet).

For såvel naturgas- som fjernvarmeforsyningen er situationen en noget andet, idet den geografiske dimension her er meget betydende for såvel anvendelsen som udbredelsen. Specielt for fjernvarme gør sig gældende, at forsyning og forbrug er tæt sammenknyttet geografisk.

I BRUS-modellen opereres derfor med en områdeinddeling for såvel den eksisterende som den fremtidige boligmasse:

- Byer med central kraftvarme.
- Store byer med fjernvarme.
- Små byer med fjernvarme.
- Byer uden fjernvarme (i dag).
- Specielt bebyggelse.

Således har kategorien "byer med central kraftvarme" primært kraftvarme, men herudover kan der være en andel fjernvarme, eventuel naturgas og endelig et residual område (der således udgør et eventuelt potentiale for enten fjernvarme eller naturgas).

Opsplitningen på by-type hænger sammen med muligheden for udbygning/ændring af de kollektive forsyninger, d.v.s. fjernvarme og/eller naturgas i forhold til individuel opvarmning (oliefyr o.l.). Inden for hvert område opereres der i BRUS for såvel fjernvarme som naturgas med en dækningsgrad og en tilslutningsgrad. Dækningsgraden specificerer, hvor stor en del af området, der er dækket med fjernvarme henholdsvis naturgas - altså definerer områder, hvor forbrugerne umiddelbart kan tilsluttes uden udbygning med gadenet og/eller transmissionsnet. Tilslutningsgraden specificerer andelen af potentielt mulige, der er tilsluttet kollektiv forsyning.

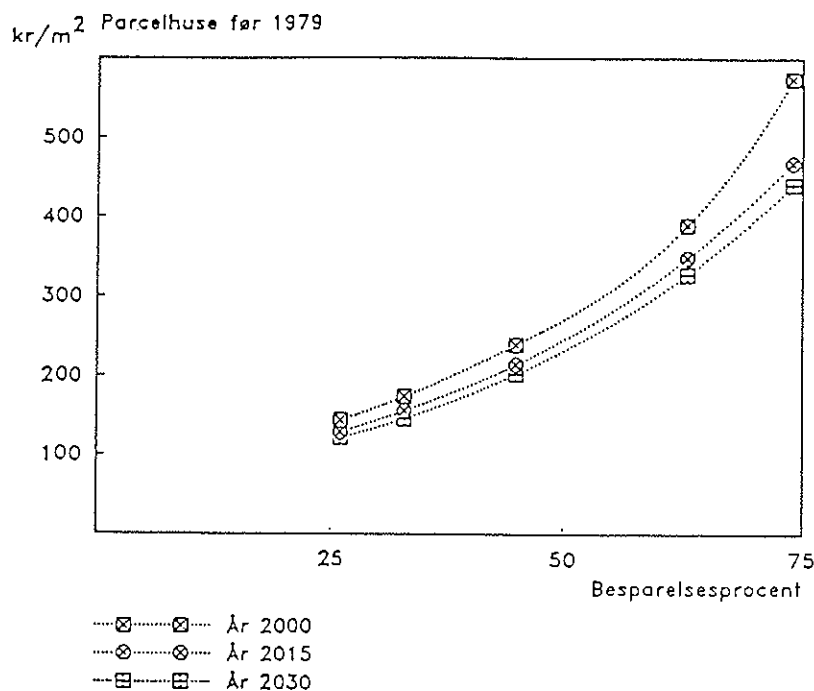
## *Efterspørgselen i BRUS*

Efterspørgselsdelen i BRUS er opsplittet på tre hovedmoduler: rumopvarmning i bolig/service, elapparater i bolig/service samt industri. Herudover er der som nævnt et transportmodul, hvor dog kun resultaterne fra transporthandlingsplanen er indført i modellen.

*Rumopvarmningen* i BRUS er opsplittet i 9 bygningskategorier (parcellhuse, tæt/lav-bebyggelse, etageboliger, kontor og service etc.), samt tre alderskategorier (før og efter 1979, samt nybyggeri). Opdelingen følger BBR-kategorieme. For hver af disse kategorier anvendes antal m<sup>2</sup> og et specifikt enhedsforbrug til bestemmelse af det samlede netto energiforbrug. Enhedsforbruget er koblet til omkostningskurver for såvel eksisterende som nybyggeri, der giver sammenhængen mellem energibesparelse og de dermed forbundne omkostninger (se Figur B.2). Hermed er det muligt at opstille scenarier for den ønskede energibesparelse og beregne konsekvenserne heraf.



Figur A.2. Omkostningskurver for besparelse i bygninger.



Modulet for *elapparater i boligsektoren* er baseret på en række af de mest elintensive apparater, såsom vaskemaskiner, køleskabe, komfurer m.v. Elforbruget bestemmes afhængigt af udviklingen i bestanden af apparater, enhedsforbruget pr. apparat (afhængigt af apparatets alder), anvendelse m.v. *Apparatforbruget i servicesektoren* er opsplittet på en række brancher og slutanvendelseskategorier, der er fremskrevet med basis i bl.a. demografiske og økonomiske forudsætninger. For såvel service- som boligsektoren er omkostningerne ved energibesparelse ved bl.a. nye apparater vurderet og indregnet i resultaterne.

For *proces* er modulet i BRUS baseret på en basisfremskrivning og et besparelsesforløb udarbejdet med INDUS-modellen, der er udviklet af Energisystemgruppen på Risø. I BRUS er industrien opsplittet på en række brancher (følgende ADAM-modellen i Budgetdepartementet), samt fire hovedenergytyper. Omkostningerne ved energibesparelser er indkorporeret i modellen.

Som nævnt er *transport*-modulet kun et ekstrakt fra transporthandlingsplanen, som dog er rimeligt detaljeret, hvorfor det er muligt at analysere på besparelser inden for de enkelte transportanvendelseskategorier. For transportområdet er det ikke muligt at uddrage de økonomiske konsekvenser af eventuelle besparelsestiltag.

### Forsyninger i BRUS

Forsyninger i BRUS er opsplittet i overensstemmelse med de geografiske områder, idet der opereres med lokal, decentral og central forsyning.

Den *lokale* energiforsyning omfatter primært:

- Den individuelle varmforsyning i bebyggelser ikke tilsluttet naturgas eller fjernvarme, d.v.s. forsyning fra oliefyr, halmfyr, biogasgårdanlæg, elvarme, solfanger etc.
- Forsyninger med naturgas, hvor konverteringen foregår i bygninger, eksempelvis med naturgasfyr. Dette forudsætter naturligvis tilslutning til naturgasnettet.

Den *decentrale* forsyning omfatter primært små og mindre kraftvarmeværker, fyret med naturgas, biomasse eller anden brændsel. Endelig kører store kraftvarmeværker under den *centrale* forsyning.

Denne opsplitning på lokal, decentral og central forsyning giver et rimeligt realistisk billede af sammenhænge mellem el- og varmeproduktion, samt hvilke bindinger de geografisk afgrænsede varmemarkeder indfører på anvendelsen af kraftvarmeværker i elproduktionen. Samtidigt giver det mulighed for en teknologisk differentiering af de anlæg, der kan anvendes i de forskellige forsyningsområder. Eksempelvis er der en del forskel på teknologi og økonomi for kraftvarmeværker, der opbygges som store centrale anlæg, og de små værker, der opføres i mindre landsbyer.

Den del af elproduktionen, der ikke fremstilles på kraftvarmeværker, skal dækkes af kondensværker eller af elproducerende vedvarende energiteknologier. På alle niveauer af såvel kraftvarmeproduktionen som den øvrige elproduktion eksisterer der en række teknologier, der kan vælges at indgå i forsyningen. For nærmere detaljer herom henvises til Baggrundsrapport nr. 7 til Energi 2000 (Brundtlandt-scenariemodellen - BRUS).

### *Miljø i BRUS*

Miljø i BRUS er begrænset til at omfatte energirelaterede emissioner. Disse omfatter:

- CO<sub>2</sub>, hvor emissionskoefficienterne er knyttet direkte til brændslet.
- SO<sub>2</sub>, hvor emissionsfaktoren er knyttet til brændslet undtagen ved anvendelse af rensningsteknologier, hvor emissionsfaktoren er knyttet til teknologien.
- NO<sub>x</sub>, hvor emissionsfaktoren er knyttet til den specifikke teknologi.

I BRUS opgøres mængden af emissioner. Disse forsøges ikke værdisat, men det er muligt at udregne marginalpriser for reduktion af de aktuelle emissionstyper.

### *Økonomien i BRUS*

Økonomien i BRUS dækker tre hovedelementer

- Brændselsudgifter.
- Drifts- og vedligeholdelsesudgifter.
- Investeringsomkostninger, annuieret over anlæggets levetid og med en realrente på 7% p.a.

Herved opnås et udtryk for systemets samlede årlige omkostninger. Investeringsomkostningerne er baseret på de beregnede kapaciteter af de enkelte anlægstyper. For energisystemet som sådan - d.v.s. forsyningsanlæg, net m.v. - opgøres de totale investeringer. For det øvrige system med relationer til energisystemer - primært på områder der har at gøre med besparelse, d.v.s. isolering, nye effektive apparater etc. - opgøres den del, der har med besparelse at gøre og indregnes i de samlede omkostninger. D.v.s. omkostningerne forbundet med at spare x% energi vil blive indkalkuleret. Ved udarbejdelse af differens-scenarier kan ændringerne i de samlede omkostninger findes.

En del omkostninger er ikke medregnet i BRUS. Dette gælder eksempelvis:

- Omkostninger forbundet med implementeringen af f.eks. besparelser. Det kan bl.a. dreje sig om offentlige tilskud, kampagneomkostninger o.l.
- Skjulte omkostninger ved forbrugerne, eksempelvis lavere velfærd med obligatorisk tilslutning til kollektive net.
- Afledte omkostninger og/eller gevinster på samfundsmæssigt niveau, eksempelvis tab i velfærd ved indførelse af CO<sub>2</sub>-skat, eller øget BNP-vækst ved skabelse af nye arbejdspladser.

BRUS-modellen giver således ikke noget samlet billede af de samfundsmæssige konsekvenser af ændrede fremtidige energisystemer, men er at betragte som en samlet investeringskalkule for hele energisystemet med de deraf afledte konsekvenser for økonomi, energi og miljø.

## Resultater og anvendelse

*Hovedresultaterne i BRUS er:*

- Bruttoenergiforbrug, opsplittet på typer, samt anvendelse af indenlandske ressourcer.
- De til energisystemet tilknyttede emissioner af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>.
- Systemets årlige omkostninger (ann. kapital-, drifts- og brændselsomkostninger), samt investeringsprofil.
- Årlige valutaomkostninger og generel beskæftigelse.

Hertil kommer en række detail-resultater, såsom installeret kapacitet af de enkelte værkstyper og teknologier, investeringer i diverse besparelsesforanstaltninger og de tilknyttede energibesparelser o.l.

Som nævnt er modellen opbygget som en valgmodel, hvilket betyder, at der er indbygget en række valgparametre til sammenstilling af *scenarier*. Disse scenarie-forudsætningsvalg omfatter:

- Valg på det overordnede samfundsmæssige plan, eksempelvis økonomisk vækst og udvikling i energipriserne.
- Strukturvalg i energisystemet, eksempelvis andelen af kraftvarme og naturgas.
- Valg af besparelsesforanstaltninger, såsom isoleringsgrad og besparelser inden for slutanvendelsen i industrien.
- Valg af teknologier og brændselsforsyning til såvel lokal, som decentral og central energiforsyning.

Ovennævnte valg kan definere et scenarie uden at ændre på grunddata i BRUS. Herudover kan der naturligvis laves utallige scenarier, der kræver ændringer i grunddata.

## Bilag 4

### Variabelliste for forsyningsmodulet.

#### Eksogene variable:

$U_u^a$	Nettoudbygning af elkapacitet i året. a= elværksejet, ikke elværksejet ; u=vind, decentral kraftvarme, industriel kombineret produktion, andet Kilde: DEF 10 årsstatistik	MW <sub>a</sub>
$T_u^a$	Årlige benyttelsestimer for kapaciteten i kategorien. a= elværksejet, ikke elværksejet ; u=vind, decentral kraftvarme, industriel kombineret produktion, andet Beregning: E/8760 P Kilde: DEF 10 årsstatistik	timer
$V_i^a$	Andel af udbygningen i året der baseres på brændsel i. a= elværksejet, ikke elværksejet; i=kul, olie, naturgas, biomasse Kilde: Energistatistik Energistyrelsen, skøn mv.	%
$C_{Mi}^a$	$C_m$ værdi for udbygningen i året. a= elværksejet, ikke elværksejet; i=kul, olie, naturgas, biomasse Kilde: Energistatistik Energistyrelsen, skøn mv	
$\eta_i^a$	Totalvirkningsgrad for udbygningen i året. a= elværksejet, ikke elværksejet; i=kul, olie, naturgas, biomasse Kilde: Energistatistik Energistyrelsen, skøn mv	
$V_i^F$	Andel af fjernvarmekapacitet og produktion, der baseres på brændsel i. i=kul, olie, naturgas, biomasse Kilde: Energistatistik Energistyrelsen, skøn mv.	%
$\eta_i^F$	Virkningsgrad for fjernvarmekapaciteten baseret på brændsel i. i=kul, olie, naturgas, biomasse Kilde: Energistatistik Energistyrelsen, skøn mv	
$\varphi$	Andel af varmebehovet som leveres fra kraftvarme. Kilde: DEF tiårsoversigt	%
$P_j$	Elkapacitet på centrale blokanlæg. j=værk 1..49, + evt yderligere planlagte Kilde: DEF tiårsoversigt, planer ELSAM / ELKRAFT	MW
$Q_j$	Varmekapacitet på centrale blokanlæg. j=værk 1..49, + evt yderligere planlagte Kilde: DEF tiårsoversigt, planer ELSAM / ELKRAFT	MJ/s
$C_M^j$	$C_m$ værdi på centrale blokanlæg. j=værk 1..49, + evt yderligere planlagte Kilde: DEF tiårsoversigt, planer ELSAM / ELKRAFT	
$\eta_j$	Elvirkningsgrad eller totalvirkningsgrad på centrale blokanlæg. j=værk 1..49, + evt yderligere planlagte Kilde: DEF tiårsoversigt, planer ELSAM / ELKRAFT	
$r_j$	Rådighedsfaktor for det j'te centrale blokanlæg. j=værk 1..49, + evt yderligere planlagte Kilde: skøn, elværkerne	
$rP$	Krav til reservekapacitet	%
$v$	Værkstørrelse for ny udbygning af centrale anlæg	MW
$vindP$	Faktor for kapacitetsværdi af vindkapaciteten	%

$C_v^j$	$C_v$ værdi på centrale blokanlæg. j=værk 1..49, + evt yderligere planlagte Kilde: skøn, elværkerne	
$gC_v$	Årlig vækstrate for $C_v$ værdi på nye centrale blokanlæg. Kilde: skøn, elværkerne	
$g\eta$	Årlig vækstrate for elvirkningsgrad på nye centrale blokanlæg. Kilde: skøn, elværkerne	
$gC_M$	Årlig vækstrate for $C_m$ værdi på nye centrale blokanlæg. Kilde: skøn, elværkerne	
$TI_j$	Starttidspunkt for værk j j=værk 1..49, + evt yderligere planlagte Kilde: DEF tiårsoversigt, planer ELSAM / ELKRAFT	år
$TS_j$	Skrotningstidspunkt for værk j j=værk 1..49, + evt yderligere planlagte Kilde: DEF tiårsoversigt, planer ELSAM / ELKRAFT	år
$F_j^{ai}$	Brændselsandele for værk j j=værk 1..49, + evt yderligere planlagte; a = maxandel, minandel; i = kul, gas, fuel, biomasse Kilde: DEF tiårsoversigt, planer ELSAM / ELKRAFT	%
$k_j$	Værktype for værk j j=værk 1..49, + evt yderligere planlagte; 0 = bygges efter 1990 som udtagsværk, 1 = kondensværk, 2 = udtagsværk, 3 = modtrykswerk Kilde: DEF tiårsoversigt, planer ELSAM / ELKRAFT	
$kF^E$	Korrektionsfaktor til brændselsforbrug til elproduktion (afvigelse 1994)	
$kF^H$	Korrektionsfaktor til brændselsforbrug til kraftvarmeproduktion (afvigelse 1994)	
$kEm_i$	Brændslernes CO <sub>2</sub> indhold i=kul, gas, fuel, olieprodukter i gennemsnit Kilde: INDUS mv.	kg/GJ
$k_i^j$	Omregningsfaktor fra brændselsefterspørgsel i J til fastprisefterspørgsel j= efterspørgsel til elproduktion, efterspørgsel til varmeproduktion; i=kul, gas, fuel, biomasse Kilde: io-matricer, energimatricer	kr./GJ
$k_m$	Omregningsfaktor fra brændselsleverancer i J til fastprisleverancer m=kulimport, import af forarbejdede olieprodukter, dansk forbrug af raffineringsproduktion Kilde: io-matricer, energimatricer	kr./GJ
$kfx_j$	Omregningsfaktor fra produktionsværdier/efterspørgsel i 80-priser til J j=elproduktion, varmeproduktion, gasproduktion Kilde: io-matricer, energimatricer	TJ/mill. kr.
$F_n^{ai}$	Brændselsandele for værk n n=nye værker 1..75; a = maxandel, minandel; i = kul, gas, fuel, biomasse Kilde: planer ELSAM / ELKRAFT, div rapporter	%
$pmel$	Importpris på el Kilde: DEF tiårsoversigt	kr./kWh
$pfb_j$	Basispris på brændsel j (cif. priser) reale brændselspriser j=kul, fuelolie, naturgas, biomasse, råolie Kilde: Energistyrelsen, Brændselsprisforudsætninger for samfunds-økonomiske beregninger.	kr. pr. GJ
$TCO_i$	CO <sub>2</sub> afgift i=kul, fuelolie, naturgas, biomasse, råolie	kr. pr. ton CO <sub>2</sub>
$tf_i$	Transportomkostning til centrale kraftværker på brændsel i i=kul, fuelolie, naturgas, biomasse, råolie	kr. pr. GJ

	Kilde: Energistyrelsen, Brændselsprisforudsætninger for samfunds-økonomiske beregninger.	
<i>pivind</i>	Anlægsomkostninger for vindmøller Kilde:	mill. kr. pr. MW
<i>pideckv</i>	Anlægsomkostninger for decentral kraftvarme Kilde:	mill. kr. pr. MW
<i>kdevkv</i>	Andel af investeringsomkostninger til dec. kv som henføres til elomkostning Kilde: skøn	%
<i>pic</i>	Anlægsomkostninger for centrale blokanlæg Kilde:	mill. kr. pr. MW
<i>CU<sub>t</sub></i>	Anlægssum for investeringselementer i elsektoren (løb pris) s=fordelingsanlæg, miljøanlæg, øvrige anlæg Kilde: DEF tiårsoversigt, elværksplaner	mill. kr.
<i>sf<sub>iel</sub><sup>s</sup><sub>m</sub></i>	Fordeling af elinvesteringer på bygninger og maskiner s=centrale/konventionelle anlæg, andre anlæg; m=bygninger, maskiner	%
<i>sf<sub>ivar</sub><sub>m</sub></i>	Fordeling af varmeinvesteringer på bygninger og maskiner m=bygninger, maskiner	%
<i>sf<sub>igas</sub><sub>m</sub></i>	Fordeling af gasinvesteringer på bygninger og maskiner m=bygninger, maskiner	%
<i>iel</i>	Renteudgift i elsektoren Kilde: DEF tiårsoversigt	mill. kr.
<i>jel</i>	Over/underdækning i elsektorens prisfastsættelse Kilde: DEF tiårsoversigt	mill. kr.
<i>cavar</i>	Andre driftsudgifter til varmeproduktion Kilde: skøn	mill. kr.
<i>Dvar</i>	Afskrivninger i varmesektor (løb. pris) Kilde: gæt	mill. kr.
<i>Avar</i>	Henlæggelser i varmesektor (løb. pris) Kilde: gæt	mill. kr.
<i>ivar</i>	Investeringer i varmesektor (løb. pris) Kilde:	mill. kr.
<i>igas</i>	Investeringer i gassektor (løb. pris) Kilde:	mill. kr.
<i>AEEL<sub>j</sub></i>	Effektivitetsudvikling i erhvervenes energiforbrug (fælles opdat for alle ADAM erhv.) j=ADAM erhverv med dtfve-variabel	
<i>pcp</i>	Forbrugerpris (anvendes kun illustrativt) Kilde: ADAM	1980 = 1
<i>pi</i>	Pris på investeringer Kilde: ADAM	1980 = 1
<i>pxb</i>	Pris på bygge og anlægssektorens produktion Kilde: ADAM	1980 = 1
<i>pyf</i>	BFI-deflator Kilde: ADAM	1980 = 1
<i>lna</i>	Timeløn i industri Kilde: ADAM	kr.
<i>bjel</i>	Efterspørgsel efter dansk elproduktion Kilde: beregnet fra ADAM og io-koeff	TJ
<i>bjeldk</i>	Indenlandsk elefterspørgsel Kilde: beregnet fra ADAM og io-koeff	TJ
<i>bjgas</i>	Gasefterspørgsel	TJ

	Kilde: beregnet fra ADAM og io-koeff	
<i>bjvarme</i>	Efterspørgsel efter fjernvarme Kilde: beregnet fra ADAM og io-koeff	TJ
<i>fxne</i>	Produktion i forsyningssektoren faste priser. Kilde: beregnet i ADAM	mill. kr
<i>qnel</i>	Beskæftigelse i forsyningssektoren Kilde: beregnet fra ADAM	1000 pers.
<i>fxe</i>	Produktion i udvindingserhvervet faste priser Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>fxng</i>	Produktion i raffinaderier faste priser (til emissioner) Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>fm3k</i>	Kulimport faste priser (til emissioner) Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>fm3q</i>	Import af olieprodukter mv. faste priser (til emissioner) Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>fe3</i>	Eksport af energiprodukter faste priser (bestemmes nu endogent) Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>ange3</i>	Leverancekoefficient fra raffinaderier til eksport af energi Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>am3qe3</i>	Leverancekoefficient fra import af olieprodukter til eksport af energi Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>sds</i> :	Selskabsskatteprovenuet. Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>tsds</i> :	Selskabsskattesats Kilde: ADAM	%
<i>fveng</i>	Energiinput i raffinaderier faste priser Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>fcv</i>	Privatforbrug af varige goder, faste priser (el-modul) Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>fih</i>	Boliginvesteringer, faste priser (el-modul) Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>kh</i>	Boligstok, faste priser (el-modul) Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>U</i>	Befolkning (el-modul) Kilde: ADAM	1000 pers.

#### Endogene variable:

$P_u^a$	Elkapacitet i kategorien. a= elværksejet, ikke elværksejet ; u=vind, decentral kraftvarme, industriel kombineret produktion, andet Kilde: DEF tiårsstatistik	MW
$\bar{P}$	Maksimal elbelastning.	MW
$P^a$	Ønsket kapacitet.(min kapacitet)	MW
$P^c$	Central elkapacitet	MW
$P^s$	Sekundær elkapacitet	MW
$RP$	Faktisk reservekapacitet	%
$\bar{E}^c$	Elproduktion der skal leveres af centrale værker.	GWh
$\bar{H}^c$	Varmeproduktion der skal leveres af centrale værker.	GWh
$MeI$	Import af el	GWh



$E_u^a$	Elproduktion i kategorien. a= elværksejet, ikke elværksejet ; u=vind, decentral kraftvarme, industriel kombineret produktion, andet Kilde: DEF tiårsstatistik	GWh
$E_j^c$	Elproduktionen på det centrale værk j j=værk1..værk49, nye værker1..nye værker75	kWh
$H_j^c$	Varmeproduktion på det centrale værk j j=værk1..værk49, nye værker1..nye værker75	MJ
$T_j^c$	Antal driftstimer på det centrale værk j j=værk1..værk49, nye værker1..nye værker75	timer
$mc_j^c$	variable produktionsomkostninger for el på det centrale værk j j=værk1..værk49, nye værker1..nye værker75	kr/kWh
$H_u^f$	Varmeproduktion i kategorien. a= elværksejet, ikke elværksejet ; u=decentral kraftvarme, industriel kombineret produktion Kilde: DEF tiårsstatistik	GJ
$\bar{V}_i^a$	Andel af kapaciteten i kategorien , der baseres på brændsel i. a= elværksejet, ikke elværksejet; i=kul, olie, naturgas, biomasse Kilde: Energistatistik Energistyrelsen, skøn mv.	%
$\bar{C}_{Mi}^a$	$C_m$ værdi for kapaciteten i kategorien. a= elværksejet, ikke elværksejet; i=kul, olie, naturgas, biomasse	
$\bar{\eta}_i^a$	Totalvirkningsgrad for kapaciteten i kategorien. a= elværksejet, ikke elværksejet; i=kul, olie, naturgas, biomasse	
$Q_n$	Varmekapacitet på centrale blokanlæg. n=nye værker 1..nye værker75 Kilde: skøn, ELSAM / ELKRAFT	MJ/s
$C_M^n$	$C_m$ værdi på centrale blokanlæg. n=nye værker 1..nye værker75 Kilde: DEF tiårsoversigt, planer ELSAM / ELKRAFT	
$C_v^n$	$C_v$ værdi på centrale blokanlæg. n=nye værker 1..nye værker75 Kilde: skøn, elværkerne	
$\eta_n$	Elvirkningsgrad eller totalvirkningsgrad på centrale blokanlæg. n=nye værker 1..nye værker75 Kilde: DEF tiårsoversigt, planer ELSAM / ELKRAFT	
$F_{ik}^u$	Brændselsforbruget i kategorien. a= elværksejet, ikke elværksejet ; i=kul, olie, naturgas, biomasse; k=el-, varmeproduktion	TJ
$F_j^{ck}$	Brændselsforbruget på det centrale værk j til el og varme k= el-, varmeproduktion; i=kul, olie, naturgas, biomasse; j=værk1..værk49, nye værker1..nye værker75	TJ
$F_i^{ck}$	Brændselsforbruget på centrale værker til el og varme k= el-, varmeproduktion; i=kul, olie, naturgas, biomasse	TJ
$F_i^{kv}$	Brændselsforbruget til kraftvarme i=kul, olie, naturgas, biomasse	TJ
$F_i^v$	Brændselsforbruget til varmeproduktion på fjernvarmeværker i=kul, olie, naturgas, biomasse	TJ
$F_i^H$	Brændselsforbruget til varmeproduktion i=kul, olie, naturgas, biomasse	TJ

$F_i^E$	Brændselsforbruget til elproduktion i=kul, olie, naturgas, biomasse	TJ
$CF_i^{KV}$	Brændselsforbruget til kraftvarme i=kul, olie, naturgas, biomasse	mill. kr.
$CF_i^V$	Brændselsforbruget til varmeproduktion på fjernvarmeværker i=kul, olie, naturgas, biomasse	mill. kr.
$CF_i^H$	Brændselsforbruget til varmeproduktion i=kul, olie, naturgas, biomasse	mill. kr.
$CF_i^E$	Brændselsforbruget til elproduktion i=kul, olie, naturgas, biomasse	mill. kr.
$Em_{nel}$	Emission af CO <sub>2</sub> fra elproduktion Kilde: DEF tiårsoversigt	ton
$Em_{nev}$	Emission af CO <sub>2</sub> fra varmeproduktion Kilde: DEF tiårsoversigt	ton
$Em_{ne}$	Emission af CO <sub>2</sub> fra forsyningssektoren Kilde: DEF tiårsoversigt	ton
$Em_j$	Emission af CO <sub>2</sub> ialt i DK j=kul, olieimport, naturgas, olie fra raffinaderier Kilde: Energistyrelsen	ton
$Em_{provne}$	Provenue af CO <sub>2</sub> afgift i forsyningssektoren Kilde: Beregnet	mill. kr.
$Em_{prov}$	Provenue af CO <sub>2</sub> afgift Kilde: Beregnet	mill. kr.
$D_i$	Afskrivninger i elsektorens regelsæt for prisdannelse (løb. pris) i=centrale anlæg, andre anlæg	mill. kr.
$A_i$	Henlæggelser i elsektorens regelsæt for prisdannelse (løb. pris) i=centrale anlæg, andre anlæg	mill. kr.
$w_{el}$	Lønudgift i elsektoren Kilde: DEF tiårsoversigt	mill. kr.
$m_{el}$	Materialeudgift i elsektoren Kilde: DEF tiårsoversigt	mill. kr.
$CU_s$	Anlægsomkostning for eludbygning s=centrale/konventionelle anlæg, vind, decentral kraftvarme	mill. kr.
$C_{el}$	Omkostninger ved elproduktion i alt (løb. pris) Kilde: DEF tiårsoversigt	mill. kr.
$C_{varme}$	Omkostninger ved varmeproduktion i alt (løb. pris) Kilde:	mill. kr.
$F_{gas}$	Brændselsomkostninger i gasforsyning Kilde:	mill. kr.
$D_{gas}$	Afskrivninger i gassektor (løb. pris) Kilde: gæt	mill. kr.
$A_{gas}$	Henlæggelser i gassektor (løb. pris) Kilde: gæt	mill. kr.
$C_{gas}$	Omkostninger ved gasforsyning i alt (løb. pris) Kilde:	mill. kr.
$iel_m^s$	Investeringer i elsektoren (løb. pris) s=centrale/konventionelle anlæg, andre anlæg; m=bygninger, maskiner	mill. kr.
$ivarme_m$	Investeringer i varmeforsyning (løb. pris) m=bygninger, maskiner	mill. kr.

$igas_m$	Investeringer i elsektoren (løb. pris) m=bygninger, maskiner	mill. kr.
$CO_f$	CO <sub>2</sub> afgift på brændsel i i=kul, fuelolie, naturgas, biomasse, råolie	kr. pr. GJ
$pf_i$	Basispris på brændsel i (cif. priser) $pfb$ inflateret med $pfy$ og tillagt afgift i=kul, fuelolie, naturgas, biomasse, råolie	kr. pr. GJ
$pfv_i$	Køberpris an værk på brændsel i inkl. afgift og transportomkostning i=kul, fuelolie, naturgas, biomasse, råolie	kr. pr. GJ
$ph$	Skyggepris på central varmereproduktion, der giver tilstrækkelig varmereproduktion	kr./kWh
$pe$	Pris på elproduktionen fra det enkelte værk = variable omkostninger pe max er variable omkostninger fra det marginale værk (skyggepris)	kr./kWh
$pxnel$	Pris på elproduktion Kilde: IO-matricer	1980=1
$pxneg$	Pris på gasforsyningssektorens produktion Kilde: IO-matricer	1980=1
$pxnev$	Pris på varmereproduktion Kilde: IO-matricer	1980=1
$elpris$	Elpris, omkostningsbestemt gennemsnitspris Kilde: DEF tiårsoversigt	kr. pr. kWh
$aane$	Koefficient for landbrugsleverance til forsyningserhverv Kilde: ADAM	
$am3kne$	Koefficient for kulimport til forsyningserhverv Kilde: ADAM	
$am3qne$	Koefficient for import af olieprodukter til forsyningserhverv Kilde: ADAM	
$angne$	Koefficient for raffinaderi-leverance til forsyningserhverv Kilde: ADAM	
$aene$	Koefficient for udvindingsleverance til forsyningserhverv Kilde: ADAM	
$anene$	Koefficient for egenleverancen til forsyningserhverv Kilde: ADAM	
$fimne$	Forsyningssektorens maskininvesteringer (faste priser) Kilde: ADAM	mill. kr.
$fineb ?$	Forsyningssektorens bygningsinvesteringer (faste priser) Kilde: ADAM	mill. kr.
$varmepris$	Gennemsnitspris på varme Kilde: Energistyrelse, skøn	kr. pr. GJ
$gaspris$	Pris på gasforsyningssektorens leverancer Kilde: Energistyrelse, skøn	kr. pr. GJ
$pxne$	Forsyningssektorens outputpris Kilde: ADAM	1980=1
$jrppe$	Justeringsled i prisen på udvindingserhvervets produktion Kilde: ADAM	
$pm3r$	Råoliepris Kilde: ADAM	1980=1
$kpm3q$	Justeringsfaktor for importpris olieprodukter Kilde: ADAM	
$kpm3k$	Justeringsfaktor for importpris af kul Kilde: ADAM	
$jdam3kne$	Justeringsled i kulimport koefficient Kilde: ADAM	

<i>jd3qne</i>	Justeringsled i olieprodukt-import-koefficient Kilde: ADAM	
<i>jdangne</i>	Justeringsled i raffinaderiers leverance-koefficient til forsyningssektor Kilde: ADAM	
<i>jdane</i>	Justeringsled i egenleverancen til forsynings erhvervet Kilde: ADAM	
<i>bene</i>	Andel af udvindingserhvervets produktion som leveres til forsyning Kilde: ADAM	
<i>fe3</i>	Energieksport, faste priser Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>zfkme</i>	Eksogen maskinkapital i forsyningssektoren Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>zfvne</i>	Eksogen energiinput i forsyningssektoren, faste priser Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>anelne</i>	Dansk elinput i forsynings erhvervet, koefficient Kilde: io-matricer	
<i>anegne</i>	Dansk gasforsyningsinput i forsynings erhvervet, koefficient Kilde: io-matricer	
<i>jsdsr</i>	Justeringsled i selskabsskatteprovenue Kilde: ADAM	
<i>jtsdsu</i>	Justeringsled i forventet selskabsskattesats Kilde: ADAM	
<i>tm3r</i>	Sats for importtold på import af råolie Kilde: ADAM	
<i>tm3k</i>	Sats for importtold på import af kul Kilde: ADAM	
<i>tm3q</i>	Sats for importtold på import af olieprodukter Kilde: ADAM	
<i>tvene</i>	Sats for afgift på energiinput i forsyningssektor Kilde: ADAM	
<i>tveng</i>	Sats for afgift på energiinput i raffinaderier Kilde: ADAM	
<i>kpe3</i>	Justeringsled for eksportpris for energi Kilde: ADAM	
<i>anee3</i>	Eksportleverance fra forsyningssektor (konstant eksport) Kilde: ADAM	
<i>fane</i>	Biomasse leverance til forsyningssektor fra landbrug, faste priser Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>fcex</i>	Privatforbrug af brændsel, faste priser Kilde: ADAM	mill. kr.
<i>anece</i>	Koefficient for forsyningsinput i fce Kilde: ADAM	
<i>anelce</i>	Koefficient for elforsyningsinput i fce Kilde: io-matricer	
<i>anegce</i>	Koefficient for gasforsyningsinput i fce Kilde: io-matricer	
<i>anevce</i>	Koefficient for varmforsyningsinput i fce Kilde: io-matricer	

**Bibliographic Data Sheet****Risø-R-910(DA)**

## Title and authors(s)

Integration of bottom-up and top-down models for the energy system.  
A practical case for Denmark (in Danish)

Henrik Jacobsen, Poul Erik Morthorst, Lise Nielsen, Peter Stephensen

ISBN		ISSN	
87-550-2200-6		0106-2840	
Dept. or group		Date	
Systems Analysis Department		July 1996	
Groups own reg. number(s)		Project/contract no.(s)	
ESY 03557.01		ENS nr. 1753/93-0001	
Pages	Tables	Illustrations	References
211	32	98	55

## Abstract (Max. 2000 characters)

The main objective of the project was to integrate the Danish macroeconomic model ADAM with elements from the energy simulation model BRUS, developed at Risø. The project has been carried out by Risø National Laboratory with assistance from Ministry of Finance.

A theoretical part focuses on the differences between top-down and bottom-up modeling of the energy-economy interaction. A combined hybrid model seems a relevant alternative to the two traditional approaches.

The hybrid model developed is called Hybris and includes modules for: supply of electricity and heat, household demand for electricity, and household demand for heat. These three modules interact in a iterative procedure with the macroeconomic model ADAM through a number of links. A reference case as well as a number of scenarios illustrating the capabilities of the model has been set up.

Hybris is a simulation model which is capable of analyzing combined CO<sub>2</sub> reduction initiatives as regulation of the energy supply system and a CO<sub>2</sub> tax in an integrated and consistent way.

## Descriptors INIS/EDB

CARBON DIOXIDE; DENMARK; ECONOMICS; ENERGY CONSUMPTION; ENERGY DEMAND; ENERGY MODELS; FUEL SUBSTITUTION; H CODES; HOUSEHOLDS; INPUT-OUTPUT ANALYSIS; RENEWABLE ENERGY SOURCES; SIMULATION; TAXES

Available on request from Information Service Department, Risø National Laboratory  
(Afdelingen for Informationsservice, Forskningscenter Risø), P.O. Box 49,  
DK-4000 Roskilde, Denmark  
Telephone (+45) 46 77 46 77, ext. 4004  
Telex 43 116 · Telefax (+45) 46 75 56 27